

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

94
КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОКА

15/11 1963

628.1
925
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ВОДОКАНАЛПРОЕКТ
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Б. С. ФАРФОРОВСКИЙ, Я. Н. ПЯТОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ОХЛАДИТЕЛЕЙ
ДЛЯ СИСТЕМ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ

564170

26 СЕН 1963

26 03 61

2 4 1963

564170

КРАСНОПРОКАЯ
БЕЛЫЙ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ, АРХИТЕКТУРЕ
И СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ
Ленинград 1960 Москва

В книге рассматриваются системы оборотного водоснабжения промышленных предприятий, где применяется охлаждение отработанной воды. Наряду с описанием конструкций различных видов охладителей, приводятся рекомендации по их выбору. В книге содержатся также краткие сведения, необходимые для расчета охладителей, потери воды, данные о типовых проектах, об обработке воды в оборотных системах водоснабжения, основные технико-экономические показатели.

Книга рассчитана на инженеров и техников, работающих в проектных организациях.

ВВЕДЕНИЕ

Рост народного хозяйства СССР связан со значительным увеличением мощности промышленных предприятий и, как следствие, ростом потребности их в воде. Зачастую ближайшие водоемы — источники водоснабжения — не в состоянии удовлетворить эти потребности. На помощь приходят оборотные системы водоснабжения с охлаждением циркуляционной воды, получающие все большее применение.

Многим организациям, занимающимся проектированием промышленных предприятий и систем их водоснабжения, приходится иметь дело с расчетами и выбором типа охладителей.

В книге на основании опыта, накопленного рядом проектных организаций (Теплоэлектропроект, Водоканалпроект, Гипромет), рассматриваются вопросы, связанные с проектированием охладителей циркуляционной воды, приводятся материалы, облегчающие проектировщикам выбор рационального типа охладителей и определение их основных размеров. Используются данные исследований, проводимых лабораторией промышленной гидравлики Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева, а также работы института Гипротис и Южного отделения Оргтрэс.

Настоящая книга может служить пособием при проектировании оборотных систем производственного водоснабжения промышленных предприятий.

ГЛАВА I

ТЕПЛООБМЕННАЯ АППАРАТУРА И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ТЕМПЕРАТУРЕ ВОДЫ И ЕЕ КАЧЕСТВУ

При проектировании системы производственного водоснабжения необходимо учитывать требования, обусловленные особенностями технологического процесса и типом холодильников, применяемых на данном предприятии.

Главными из этих требований являются качество оборотной воды, т. е. ее химический состав и загрязненность механическими примесями, требуемая температура охлажденной воды и температурный перепад, т. е. разница температур воды, поступающей в охладитель и охлажденной в нем.

Качество оборотной воды зависит от источника водоснабжения, а также от способа охлаждения в данном агрегате и типа используемой теплообменной аппаратуры.

Наиболее широко применяются следующие виды теплообменников, т. е. холодильников.

Поверхностные холодильники. Вода в них протекает по закрытым трубкам, размещенным внутри технологического аппарата, через который движется охлаждаемый продукт, воздух, пар. Бывает и наоборот, когда по трубкам, омываемым водой, проходит продукт.

Примером холодильников этого типа служат конденсаторы паровых турбин, охладители масла, холодильники предприятий химической промышленности.

Холодильники печей металлургических заводов размещаются в кладке производственных печей или помещаются внутри их металлических конструкций. Проходящая по ним вода снижает температуру кладки или металла. Холодильники этого типа, как и предыдущие, относятся к типу закрытых, в которых вода не соприкасается с охлаждаемым продуктом и поэтому не загрязняется.

Существует еще один, довольно распространенный способ охлаждения — разбрызгивание охлаждающей воды в аппаратуре (скрубберах), через которые проходят охлаждаемые

газы (конденсаторы смешения). Этот способ применяется, например, при очистке доменных газов.

При непосредственном соприкосновении газов, несущих с собой пыль и продукты горения, с охлаждающей водой последняя сильно загрязняется. Поэтому перед тем, как направить нагретую в скрубберах воду на охладитель, ее очищают в специальных отстойниках.

Температурный перепад, на который рассчитывается проектируемый водоохладитель, устанавливается тепловым расчетом, проводимым при проектировании технологических установок, т. е. при расчете системы холодильников, и зависит от количества отдаваемого тепла и расхода охлаждаемой воды. Поэтому расчетный расход воды, необходимый для систем междохового производственного водопровода, определяется при разработке проекта технологической части цехов и установок.

В ряде производств химической и нефтяной промышленности (при конденсации газообразных продуктов) количество получаемого продукта зависит от конечной температуры его охлаждения. В этих отраслях промышленности необходимо применять охладители, способные обеспечить максимальное снижение температуры воды. Температура охлаждающей воды имеет большое значение и для обеспечения экономичной работы паровых турбин.

Требования, предъявляемые к температуре и качеству воды различными промышленными предприятиями, имеют специфический характер. В этом можно убедиться, ознакомившись с кратким описанием систем водоснабжения основных цехов предприятий черной металлургии, заводов химической промышленности, а также систем водоснабжения паротурбинных установок и компрессорных станций.

§ 1. Установки заводов черной металлургии

В наибольших количествах воду для охлаждения агрегатов потребляют доменный цех и установки по очистке доменного газа, прокатные цехи, воздуходувные и электрические станции (теплоэлектроцентрали). До последнего времени много потребляли воды и сталеплавильные цехи, но с переводом мартеновских печей на испарительное охлаждение, при котором охлаждение нагретых элементов печи производится пароводяной эмульсией, потребность этих цехов в воде резко сократилась. В настоящее время ведутся опыты по переводу на испарительное охлаждение и доменных печей.

Доменный цех. В доменных печах вода расходуется на охлаждение кладки печей и металлических конструкций, находящихся под непосредственным воздействием высоких температур, развивающихся в процессе плавки металла. Система охлаждения доменных печей состоит из большого числа холодильников,

расположенных в кладке всех зон печи, по которым циркулирует охлаждающая вода.

Холодильники доменной печи представляют систему металлических плит-коробок, соединенных трубками небольшого диаметра (1—2"). Проходя по закрытой системе труб и холодильников, вода нагревается, но не загрязняется.

Вода в холодильниках доменной печи, по данным многочисленных обследований, нагревается на 3—10°, при этом температура поступающей к печи воды может достигать 30—35°. Дальнейшее ее повышение нежелательно, так как тогда может происходить выпадение солей временной жесткости, что ведет к «зарастанию» труб в холодильниках.

Процесс выпадения солей жесткости находится в прямой зависимости от природных качеств воды и в первую очередь от ее карбонатной жесткости и наличия в ней свободной углекислоты.

Повышенная временная жесткость охлаждающей воды и недостаток свободной углекислоты обуславливают ускорение образования отложений на поверхности холодильников. Ускорению выпадения солей способствует наличие в охлаждающей воде взвешенных веществ, а также ее температура.

Поэтому качество воды, применяемой для охлаждения агрегатов, и в частности доменных печей, должно быть тщательно изучено в каждом отдельном случае и с учетом особенностей источника водоснабжения определены расход охлаждающей воды и допустимое количество взвешенных веществ.

При наличии сравнительно мягких вод (3—4 мг/экв) допустимое содержание взвешенных веществ при обычной эксплуатации составляет 100—200 мг/л. В отдельных случаях оно может быть повышено до 300 и даже 500 мг/л и более, что влечет за собой необходимость более частой промывки холодильников.

Помимо охлаждения доменных печей, вода в доменном цехе расходуется также на охлаждение арматуры воздухонагревателей.

Одной из характерных особенностей системы водоснабжения доменных цехов является наличие в отводной магистрали напора, создаваемого за счет разности отметок расположения сборных резервуаров или желобов, находящихся на уровне рабочей площадки печи и водоохладителей.

Разность отметок (8—10 м) обеспечивает поступление нагретой, отработанной воды к охладителям оборотной системы водоснабжения самотеком, без перекачки ее насосами.

Установки для очистки доменного газа. Выходящий из доменных печей газ обладает большой теплотворной способностью и используется в качестве топлива в других цехах металлургического завода. Однако для транспортировки его по газопроводам он должен быть очищен от большого количества колошниковой пыли, состоящей из мельчайших частиц сырых

материалов, загружаемых в печь (руда, кокс, известняк и др.). Одновременно с очисткой газ должен быть охлажден.

В настоящее время при проектировании металлургических заводов предусматривается электрическая очистка доменных газов. При прохождении через электрическое поле высокого напряжения содержащиеся в газе частицы пыли приобретают электрический заряд и осаждаются на электродах.

Установка для электрической очистки газа состоит из скруббера, размещаемого в нижней части аппарата, и двух электрофильтров, находящихся в средней и верхней частях колонны.

В скруббере газ первый раз встречается с водой, которая разбрызгивается через брызгальные сопла, находящиеся в верхней части скрубберной насадки. Падая, капли воды встречают газ и смачивают содержащуюся в нем пыль. В скруббере газ проходит грубую очистку и одновременно охлаждается до 35—40°.

После скруббера газ направляется на электрофильтры, где происходит тонкая его очистка.

Трубки электрофильтров, где размещаются электроды, непрерывно промываются водой под напором 45—50 м. Периодически, два раза в смену в течение 5—10 мин., электрофильтры промываются водой под повышенным напором — 60 м.

Расходуемая на промывку и охлаждение газа загрязненная большим количеством колошниковой пыли вода собирается в нижней части газоочистного аппарата (под скруббером) и отсюда сбрасывается в отводные лотки. Сточная вода после газоочистки содержит как механические, так и химические загрязнения. Количество взвешенных веществ достигает 4 000—5 000 мг/л. По данным анализов института ВОДГЕО, в стоках после очистки доменного газа содержатся цианистые и роданистые соединения, исключающие возможность сброса этих сточных вод в открытые водоемы. В то же время после надлежащего отстаивания вода может быть вновь использована для водоснабжения газоочистки. Поэтому система водоснабжения газоочистки принимается оборотной.

Перед повторным использованием осветленной воды необходимо ее охладить.

Для создания лучших условий работы газопроводов желательно, чтобы транспортируемый по ним газ в летнее время имел температуру не выше 30—35°.

Повышение температуры газа влечет за собой выпадение конденсата и засмаливание газопроводов и, как следствие, необходимость частой их прочистки, что крайне сложно в условиях металлургического завода.

Снижение температуры очищенного доменного газа зависит, в свою очередь, от температуры охлаждающей воды. Следовательно, в оборотной системе газоочистки целесообразно приме-

нять водоохладители, обеспечивающие понижение температуры воды до 28—33° (вентиляторные градирни).

Освещение оборотной воды происходит в горизонтальных отстойниках. На металлургических заводах, работающих на обычных рудах, применяются радиальные отстойники, оборудованные подвижными фермами для непрерывного сгребания шлама, что весьма важно, так как шлам имеет свойство спекаться. Шлам удаляется из отстойников постоянно работающими насосами.

Опыт эксплуатации радиальных отстойников подтвердил их несомненные преимущества. Эффект осветления в них достигает 90—95%. Однако и при высоком проценте осветления в оборотной воде цикла газоочистки содержится до 200—500 мг/л взвешенных веществ.

Наличие в оборотной воде такого количества взвеси, имеющей способность к спеканию, предъявляет особые требования к конструкции оросительных устройств градирен.

Сталеплавильные цехи. В мартеновских печах этих цехов вода охлаждает заслонки и рамы завалочных окон, кесоны, перекидные клапаны и другие устройства. Вода циркулирует по закрытым трубкам и поэтому не загрязняется. После охлаждения ее вновь можно использовать, за исключением воды от дымовых клапанов, которая сбрасывается в канализацию.

Средний температурный перепад между подводимой и отходящей от мартеновских цехов водой составляет 15°.

Нагревшаяся вода собирается в приемных коробках, установленных на рабочих площадках печей, на высоте 7—8 м от спланированной поверхности и под этим напором может подаваться на охладитель.

В последнее время применяется испарительное охлаждение мартеновских печей. Подаваемая в холодильники горячая вода за счет отбора тепла от охлаждаемых элементов образует пароводяную эмульсию, которая поступает в бак-сепаратор, где пар отделяется от воды и отводится для дальнейшего использования, а вода продолжает циркулировать в системе. Циркуляция происходит либо естественным путем за счет разности удельных весов воды и пароводяной эмульсии, либо при помощи насоса.

Подаваемая для испарительного охлаждения вода подвергается специальной химической очистке. В этом случае оборотное водоснабжение с охлаждением отработавшей воды в водоохладителях не применяется.

Водяное охлаждение при испарительном сохраняется только в виде резерва для удовлетворения потребности одной или двух печей в зависимости от мощности цеха. Вода используется также для охлаждения мелких агрегатов в цехе — дымовых клапанов и др.

Прокатные цехи. По характеру водопотребления оборудование прокатных цехов можно разделить на три основные группы:

а) нагревательные печи и колодцы, где слитки разогреваются перед их прокаткой;

б) собственно прокатные станы;

в) холодильники для воздуха (и масла) в моторных помещениях двигателей основных станов.

В нагревательных колодцах и печах прокатных цехов вода расходуется для охлаждения примерно тех же деталей, что и в мартеновских печах. Вода циркулирует по закрытым трубкам, ничем не загрязняется и после охлаждения может быть вновь использована.

Эти агрегаты не требовательны в отношении температуры поступающей воды, которая в отдельные периоды года может достигать 30—32°. Охлаждающая вода нагревается в печах и колодцах на 8—12°.

В отношении качества (состав, количество взвешенных веществ) к охлаждающей воде для нагревательных колодцев и печей прокатных цехов предъявляются те же требования, что и для доменных печей.

Значительное количество воды в современных прокатных цехах расходуется для воздухоохладителей и охлаждения масла в моторных помещениях машинных залов при станах, где расположены электродвигатели. Проходя закрытые противоточные аппараты, вода нагревается на 8—15°. Для обеспечения лучших условий работы электродвигателей температура охлаждающей воды для воздуха и масла не должна превышать 25—28°.

Часть подаваемой к прокатным станам воды поступает к валкам и подшипникам станов и охлаждает их, после чего сливается в подстановые каналы и используется для смыва окалины, которая осыпается с прокатываемого металла в цеховые отстойники. Для охлаждения подшипников станов следует подавать воду без механических примесей. В этих целях используется вода, подаваемая к печам и нагревательным колодцам, или отработанная вода, отходящая от этих агрегатов.

Обычно для прокатных цехов проектируется две системы оборотного водоснабжения — для чистой воды, используемой для охлаждения печей и нагревательных колодцев, воздухо- и маслоохладителей, и для воды, поступающей от станов. Различное качество оборотной воды определяет выбор разных типов охладителей: вентиляторных или башенных градирен с пленочным оросителем для чистого цикла и градирен с капельным оросителем или брызгалами — для загрязненной воды.

К воде, используемой для охлаждения валков прокатных станов, не предъявляются особых требований как в отношении ее качества, так и температуры. Однако вода, используемая от смыва окалины, должна быть освобождена от окалины и сма-

зочного масла, которое зачастую попадает в сточную воду, отходящую от прокатных цехов. С этой целью на металлургических заводах проектируются особые отстойники, в которых происходит осветление воды, т. е. освобождение от мелкой окалины, внесенной из цеха, и следов масла.

§ 2. Заводы химической промышленности

Технологические процессы во многих отраслях химической промышленности связаны с охлаждением разогретых жидких и газообразных продуктов. Охлаждение производится непосредственно водой или растворами.

Примером комбинированного охлаждения могут служить аммиачно-холодильные установки, где для целей охлаждения употребляется аммиак и соляной раствор, а вода расходуется для охлаждения рубашек компрессоров и конденсаторов для аммиака.

Для большинства установок химических заводов, где расходуется вода оборотных систем водоснабжения, характерным является применение ограниченного количества типов холодильников и конденсаторов.

Основными типами являются:

- 1) поверхностные холодильники и конденсаторы, в которых охлаждаемый продукт и вода не соприкасаются друг с другом и где, как правило, вода не загрязняется продуктом;
- 2) конденсаторы с разбрызгиванием охлаждающей воды непосредственно в продукт.

К числу поверхностных аппаратов относятся:

- а) трубчатые конденсаторы и холодильники;
- б) погруженные конденсаторы и холодильники;
- в) оросительные холодильники.

Трубчатые конденсаторы и холодильники представляют собой противоточные, теплообменные аппараты, где по пучку трубок малого диаметра протекает обычно вода, а по межтрубному пространству навстречу потоку воды движется охлаждаемый продукт.

Вода, подаваемая в трубчатые аппараты, может сохранить на выходе из холодильника напор, достаточный для поступления непосредственно на охладители оборотной воды.

Конденсаторы или холодильники в виде труб или змеевиков, погруженных в бак с проточной водой, получили название погруженных. Отличаясь простотой устройства, аппараты этого типа весьма не требовательны к качеству воды (жесткости и содержанию взвеси).

В том случае, если змеевики орошаются водой сверху, установки носят название оросительных. Холодильники и конденсаторы этого типа более эффективны, ибо, помимо съема тепла

водой, процесс охлаждения происходит и за счет частичного испарения воды.

Как отмечалось выше, в поверхностных аппаратах вода не соприкасается с охлаждаемым продуктом и, следовательно, ничем не загрязняется. Однако в условиях химических заводов зачастую происходят аварии со змеевиками или трубками. В результате продукт попадает в оборотную воду, что необходимо учитывать при выборе типа водоохладителей.

Из аппаратов, у которых вода непосредственно вводится в продукт для его охлаждения, на предприятиях химической промышленности применяются конденсаторы смешения и барометрические конденсаторы. Вода, проходя через насадки, сопла или другие приспособления, из верхней части аппарата падает навстречу газообразному продукту.

Барометрические конденсаторы работают по тому же принципу, как и простые конденсаторы смешения, но создают вакуум в технологических аппаратах, который образуется за счет быстрой конденсации паров.

Вода из конденсаторов смешения всегда загрязнена продуктом и поэтому, как правило, сбрасывается в канализацию.

В отдельных случаях, в зависимости от характера загрязнения, после соответствующей очистки и охлаждения вода может быть повторно использована.

Общей и характерной чертой химических предприятий является наличие большого количества холодильников и отдельных оборотных циклов водоснабжения, поскольку составные части газообразных продуктов конденсируются при различных температурах. Поэтому к температурам охлаждающей воды также предъявляются различные требования, определяемые технологами при расчете аппаратуры. Максимальное понижение температуры оборотной воды необходимо для аппаратов, которые при низких температурах воды обеспечивают большую конденсацию и лучшее извлечение продукта.

Так, например, в бензольных цехах коксохимических заводов количество улавливаемого бензола при температуре масла 25° может достигать 90% от его содержания в газе, а если масло будет охлаждено до температуры 30, 35 или 40°, количество улавливаемого бензола соответственно снизится до 86, 79 и 70%.

§ 3. Тепловые электростанции

Основное количество воды на тепловых электростанциях требуется для охлаждения (конденсации) пара в конденсаторах паровых турбин (до 90% всей потребности в воде).

Для прочих нужд электростанции — питания котлов, охлаждения подшипников, масла и воздуха генераторов, транспорта золы и шлака и т. д. — используется сравнительно небольшая часть общего расхода воды.

при турбинах среднего давления	200—250 м ³ /час
высокого 	160—200 "

Так, повышение температуры охлаждающей воды на один градус ухудшает величину вакуума в конденсаторах на 0,5%, что равноценно снижению мощности турбины на 0,4% или перерасходу пара на 0,5%.

Количество тепла, отдаваемого конденсируемым паром охлаждающей воде в конденсатор, зависит от количества охлаждаемого пара и равно:

$$W = D_K (i_n - i_K), \quad (1)$$

D_k — расход пара, поступающего в конденсатор, принимаемого по данным завода-изготовителя турбины;

 i_n — теплосодержание пара, поступающего в конденсатор; i_k — теплосодержание конденсата.
$$Q\Delta t = D_K (i_{\Pi} - i_K), \quad (2)$$

откуда:

$$\Delta t = \frac{D_k (i_n - i_k)}{Q}. \quad (3)$$

Приближенно перепад температуры может приниматься равным:

$$\Delta t = \frac{530 D_k}{Q}. \quad (4)$$

Обычно величина перепада температур в конденсаторах составляет 7—9°.

Для получения величины вакуума в конденсаторах, обеспечивающего отдачу турбиной полной мощности, температура охлаждающей воды не должна превышать 30—33°.

Конденсаторы пара представляют собой поверхностные теплообменники, в которых охлаждающая вода протекает по трубкам, омываемым отработанным паром.

Температура подводимого к генератору воздуха не должна превышать 35—37°. По этой причине технические условия на поставку генераторов предусматривают температуру охлаждающей воды для систем воздухоохлаждения не выше 30—33° во избежание снижения мощности, отдаваемой генератором.

Величина перепада температур воды в воздухоохладителях — 4—5°.

Поверхностные теплообменники применяются и для охлаждения турбинного масла, используемого для смазки подшипников турбогенераторов и регулирующих механизмов.

Маслоохладители обычно требуют подачи воды с температурой 25—30°.

Для химической очистки воды, питающей котлы, и гидравлического удаления золы и шлаков котельной используется часть теплой циркуляционной воды, получаемой после охлаждения конденсаторов.

Вода в конденсаторах и газоохладителях паровых турбин не загрязняется. Проходящая через маслоохладители вода, в связи с возможным загрязнением маслом часто сбрасывается из системы в сеть канализации.

Закрытая система охлаждения конденсаторов позволяет легко решать вопросы, связанные с подачей отработанной воды на водоохладительные сооружения.

При использовании градирен или брызгальных бассейнов вода подается к конденсаторам под таким напором, чтобы на выходе из них сохранился остаточный напор, способный обеспечить подачу теплой воды на охладитель.

§ 4. Компрессорные станции

Компрессорные установки получили широкое распространение на многих промышленных предприятиях. Известно, что процесс сжатия воздуха связан с неизбежным повышением его температуры. Для того чтобы температура сжимаемого воздуха, выходящего из компрессора, не превышала допустимого для нормальной и безопасной работы предела $140-160^{\circ}$, обычно применяется охлаждение воздуха — воздушное и водяное.

Воздушное охлаждение мало эффективно и используется редко, преимущественно в передвижных компрессорах малой производительности. Чаще применяется водяное охлаждение рубашек компрессоров, при котором охлаждающая вода, прошедшая поверхностные холодильники компрессоров, после своего охлаждения вновь используется в обороте.

Система охлаждения компрессоров не предъявляет особых требований к температуре подаваемой воды. В зависимости от величины расхода перепад температур входящей и отходящей воды может достигать 10—25°. Желательно, чтобы температура отработанной воды не превышала 40—45°. Предел ее нагрева не должен допускать выпадения солей временной жесткости и образования накипи на охлаждаемой поверхности.

Если охлаждающая вода содержит большое количество солей, рекомендуется применять двухступенчатую или двухконтурную системы охлаждения. При этой системе рубашки компрессоров охлаждает химически очищенная вода, циркулирующая по закрытой, замкнутой сети (первого контура), снабженной поверхностным холодильником. Вода оборотной системы (второго контура) используется, в свою очередь, для охлаждения поверхностного холодильника, после чего она поступает на водоохладитель.

ГЛАВА II

ВЫБОР СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При наличии вблизи промышленной площадки достаточно мощного источника водоснабжения целесообразно осуществить прямоточную схему, при которой весь необходимый для производства расход воды забирается непосредственно из реки или другого источника (рис. 1). Эта система наиболее проста и обеспечивает в то же время минимальную температуру используемой для производственных нужд воды, что имеет особенно важное значение для тех производств, где более низкие температуры охлаждающей воды обеспечивают больший выход продукта или повышают выработку электроэнергии (тепловые электростанции).

Прямоточная система неприменима при химическом загрязнении отработанной воды, которую без специальной очистки нельзя сбросить в открытые источники, но по условиям технологического процесса можно вновь использовать после охлаждения.

При значительных диаметрах и протяженности водоводов, а также большой разности отметок расположения промышленного предприятия и горизонта воды в источнике водоснабжения прямоточная система может оказаться неэкономичной. В этом случае более целесообразно прибегнуть к системе с повторным использованием (и охлаждением) отработанной воды или к системе оборотного водоснабжения.

Наиболее близка к прямоточному водоснабжению система повторного (последовательного) использования воды, при которой вода, использованная для охлаждения одного потребителя, подается к другому. Эта система часто применяется на практике.

Примером подобного решения схемы может служить использование воды, расходуемой на охлаждение конденсаторов паротурбинных установок, для нужд других цехов промышленных предприятий, так как, проходя закрытую систему охлаждения конденсаторов, вода ничем не загрязняется.

Принципиальная схема последовательного водоснабжения приведена на рис. 2. При этой системе для цехов, непосред-

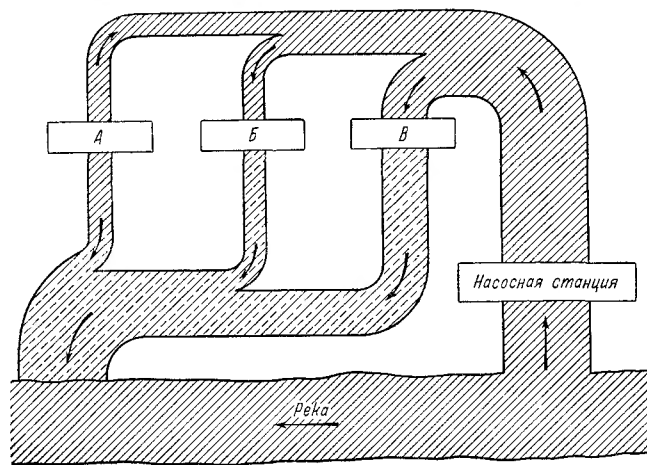


Рис. 1. Схема прямого водоснабжения:
А, Б, В—цехи-потребители воды

ственно получающих воду из источника, используются все преимущества прямого водоснабжения. Для повторного ис-

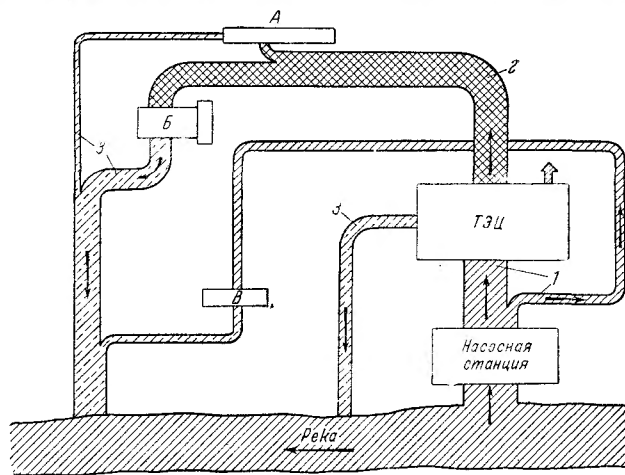


Рис. 2. Схема с повторным использованием воды:
А, Б, В—цехи-потребители воды; 1—речная вода; 2—вторично используемая вода; 3—отработанная вода

пользования вода может быть подана к потребителям, нетребовательным к температуре охлаждающей воды.

При повторном использовании отработанной воды возникает

необходимость в дополнительном сооружении насосных установок для подкачки воды ко второй группе потребителей. Как и при системе прямого водоснабжения, из источника безвозвратно отбирается только вода, теряемая в процессе производства или настолько загрязняемая, что не может быть сброшена обратно в водоем.

Оборотная система водоснабжения применяется в том случае, когда источник водоснабжения не может обеспечить отбор необходимого для промышленного предприятия расхода воды или когда другие системы водоснабжения оказываются менее экономичными.

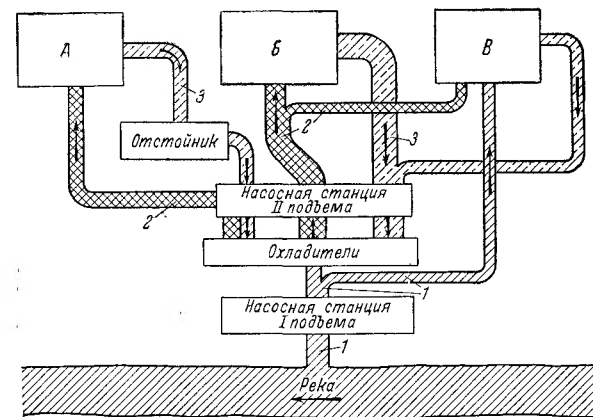


Рис. 3. Схема оборотного водоснабжения:
А, Б, В—цехи-потребители воды; 1—речная вода; 2—охлажденная вода; 3—отработанная вода

Оборотная система водоснабжения является наиболее сложной, но в то же время позволяет свести до минимума количество воды, подаваемой на площадку завода из источника водоснабжения, и уменьшить его загрязнение отработанными сточными водами.

Следует иметь в виду, что оборотная система водоснабжения требует большего безвозвратного расхода воды, отбираемого из источника, чем прямоток, что имеет значение при напряженном водном балансе. Это объясняется дополнительными потерями на испарение и уносом брызг ветром в охладителях, а также продувкой системы и необходимостью ее пополнения свежей водой во избежание нарастания содержания солей жесткости.

С другой стороны введение оборота воды на площадке значительно уменьшает диаметры водоводов от насосной станции I подъема и канализационных коллекторов, отводящих отработанную воду с территории предприятия.

Принципиальная схема оборотного водоснабжения приведена на рис. 3.

Особое значение приобретает применение оборотной системы водоснабжения для предприятий, расположенных в городской черте и вынужденных получать воду для производственных нужд от городской водопроводной сети и сбрасывать стоки в канализационную сеть города.

Стоимость 1 м³ воды городского водопровода, прошедшей очистку и обезвреживание, в среднем по РСФСР колеблется в пределах от 40 коп. до 1 руб. Стоимость сброса 1 м³ стоков в канализацию — хозяйственно-фекальную или ливневую, в зависимости от системы очистки городских стоков, — может достигать 10—50 коп.

Поэтому для промышленных предприятий, расположенных в городе, как правило, целесообразно применять оборот воды и строить водоохлаждающие сооружения.

Сравнительные показатели прямоточной и оборотной систем водоснабжения с прудом-охладителем и градирнями или брызгальным бассейном приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная стоимость систем водоснабжения		
Система водоснабжения	Среднегодовая температура в град.	Стоимость сооружений в %
Прямоточная	10	100
Оборотная:		
с прудом	15	140
с градирнями или бассейном	20	120

Среднемесячные температуры воды в прямоточной и оборотной системах водоснабжения при различных типах охладителей приведены на рис. 4.

Выбор оптимальной схемы водоснабжения с учетом технико-экономических показателей проиллюстрируем нижеследующими примерами.

Пример 1. Промышленная площадка расположена на расстоянии 4 км от реки с минимальным дебетом 8,5 м³/сек. Разность отметок площадки завода и расчетного горизонта воды в реке составляет 18 м.

Потребность в воде завода при прямоточном водоснабжении — 2000 л/сек, при обороте воды на площадке — 300 л/сек.

Среднемесячная температура воды в реке в летнее время достигает 22°, жесткость воды — 2 мг/экв. Вода термостабильна, что исключает выпадение солей жесткости в оборотных системах. Допускаемая температура охлаждающей воды без ухудшения условий технологического процесса — 30°.

Рассмотрим два варианта решения системы производственного водоснабжения.

Прямоточное водоснабжение. Подача речной воды на завод проектируется по двум водоводам диаметром 800 мм из чугунных труб. Скорость воды в этих трубах составляет 2,04 м/сек и потери напора — 6 м на 1 км.

В береговой насосной станции устанавливаются три насосных агрегата — два рабочих и один резервный, производительностью по 1000 л/сек. Напор насоса определяется равным:

$$H = 18 + 4 \cdot 6 \cdot 1,1 + 4 + 20 = 68,4 \text{ м},$$

где 18 — разность отметок;
4·6·1,1 — потеря напора в водоводах с учетом местных сопротивлений;
4 — потери в трубопроводах насосной станции и водозаборе;
20 — остаточный напор у площадки завода.

Принимаются насосы типа 20 НДС производительностью по 1000 л/сек при напоре 69 м с электродвигателями мощностью по 800 квт.

Часть подаваемой на площадку завода воды — 1000 л/сек — должна поступать к потребителям с напором 65 м. С этой целью на территории предприятия строится насосная станция II подъема. Применительно к каталогам имеющегося насосного оборудования для повышения напора воды выбираются три рабочих и один резервный насос типа 12 НДС производительностью по 350 л/сек и напором в 54 м с электродвигателями мощностью 225 квт.

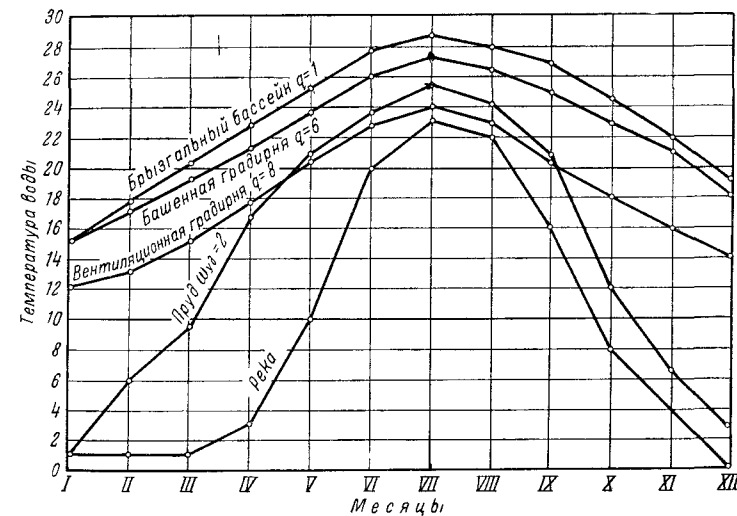


Рис. 4. График среднемесячных температур воды при прямоточном и оборотном водоснабжении с охладителями различных типов

Отработанная вода сбрасывается с заводской площадки в реку ниже места водозабора по коллектору диаметром 1200 мм (расчетный расход — 1800 л/сек). Длина коллектора — 3,7 км.

Оборот воды на площадке завода. Расчетный расход воды 330 л/сек может быть подан на площадку по двум водоводам диаметром 400 мм при скорости 1,32 м/сек и величине потерь 6 м на 1 км.

В береговой насосной станции устанавливается один рабочий насос и один резервный типа 12 НДС производительностью по 350 л/сек, напором 54 м, с электродвигателем мощностью 225 квт.

Потребный напор насосов складывается из

$$H = 18 + 4 \cdot 6 \cdot 1,1 + 4 + 5 = 53,4 \text{ м},$$

Технико-экономические показатели систем внеплощадочного водоснабжения

Наименование работ	Материал	Единица измерения	Количество	Строительная стоимость ¹		Эксплуатационные затраты	
				единицы (руб.)	всего (тыс. руб.)	годовые отчисления (%)	сумма (тыс. руб.)
I. Прямоточное водоснабжение							
Водоводы, диаметр 800 мм	Чугун	м	8 000	604	4 832	2,8	135
Канализационный коллектор, диаметр 1 200 мм	Желсзобетон	"	3 700	937	3 467	3,2	111
Насосное оборудование I подъема	—	квт	2 400	250	600	8,8	53
" " II "	—	"	900	290	261	8,8	24
Стоимость электроэнергии в год:							
оплата установленной мощности	—	"	3 300	—	—	300 руб. за 1 квт	990
оплата электроэнергии	—	"	—	—	—	0,10 руб. за 1 квт/час	1 993
Всего			—	—	9 160	—	3 306
II. Обратное водоснабжение							
Водоводы, диаметр 400 мм	Чугун	м	8 000	243	1 944	2,8	54
Канализационный коллектор, диаметр 600 мм	Железобетон	"	3 700	568	2 001	3,2	64
Насосное оборудование I подъема	—	квт	450	290	130	8,8	11
" " II "	—	"	2 320	290	673	8,8	59
Башенные градирни с пленочным оросителем площадью по 300 м ²	Железобетон и дерево	шт.	4	540	2 160	9,5	205
Стоимость электроэнергии в год:							
оплата установленной мощности	—	квт	2 770	—	—	300 руб. за 1 квт	831
оплата электроэнергии	—	"	—	—	—	0,10 руб. за 1 квт/час	1 318
Всего	—	—	—	—	6 908	—	2 542

¹ Приняты по укрупненным показателям институтов Гипрокоммунводоканал, Водоканалпроект и Теплоэлектропроект (в ценах 1955 г.).

где 5 — остаточный напор у границы завода для обеспечения слива пополнений в водоприемный колодец насосной станции оборотного водоснабжения.

В качестве охладителя воды оборотных циклов на площадке завода принимаются башенные градирни с пленочным оросителем. Проектируются два оборотных цикла — низконапорный и высоконапорный с напором соответственно 17 и 70 м. Расход воды для каждого из циклов — 1000 л/сек или 3600 м³/час.

Произведенными расчетами была определена необходимость строительства для первого оборотного цикла двух градирей площадью орошения 300 м², т. е. с нагрузкой на 1 м² пленочного оросителя 6 м³/час, при температурном перепаде поступающей и охлажденной воды 6–7°.

Для второго оборотного цикла намечается строительство двух аналогичных градирей.

Подача воды на градирни первого оборотного цикла обеспечивается за счет остаточного напора отработанной воды при выходе ее из цеха. Для теплой воды второго оборотного цеха предусматриваются насосы, подкачивающие эту воду на градирни. Агрегаты устанавливаются в насосной станции оборотного водоснабжения вместе с группами насосов, подающих охлажденную воду с градирей в производственные цехи.

На упомянутой насосной станции устанавливаются три группы насосов.

Расчетный расход воды — 1000 л/сек, или 3600 м³/час. Потребный напор:

$$H = 8 + 4 + 2 = 14 \text{ м.}$$

где 8 — геометрическая высота подачи воды на градирню;

4 — потери в трубопроводах насосной станции и разность отметок горизонта воды в водозаборном колодце и площадки размещения градирей;

2 — потери в водоводах и трубах градирни.

В этой группе устанавливаются два рабочих насоса и один резервный типа 16 НДН производительностью по 500 л/сек, напором 16 м; мощность электродвигателей по 100 кВт.

Для подачи воды в сеть первого оборотного цикла устанавливаются два рабочих агрегата и один резервный того же типа 16 НДН производительностью 500 л/сек, напором 22 мм. Мощность электродвигателей — по 140 кВт.

Требуемый напор определяется с учетом напора у цехов — 17 м, потерь напора в сети — 2 м и потерь в трубопроводах насосной станции — 3 м.

Второй оборотный цикл требует установки насосов с напором 70 м, причем напор в сети составляет 65 м, а потери в сети и насосной станции — 5 м.

Принимаются два насоса типа 20 НДС — рабочий и резервный производительностью по 1000 л/сек, напором 69 м. Мощность электродвигателей — по 800 кВт.

Для сброса отработанной воды в реку предусматривается коллектор диаметром 600 мм при расчетном расходе 280 л/сек. Коллектор укладывается на протяжении 3,7 км с уклоном 0,002.

Выбор варианта производится на основании технико-экономического анализа затрат на строительство и стоимость эксплуатации (табл. 2).

Для упрощения подсчетов исключена стоимость строительства зданий насосных станций и электроподстанций при них, условно считая, что затраты, связанные с увеличением габаритов и мощности насосной станции II подъема, при варианте оборотного водоснабжения компенсируются уменьшением кубатуры и мощности, более сложных и трудоемких в строительстве водозабора и береговой насосной станции I подъема. Не учитывается также стоимость участков пристанционных сетей.

Строительная стоимость сооружений и сетей водопровода и канализации принята по укрупненным показателям.

Сравнение показателей стоимости строительства и эксплуатации подтверждает значительные преимущества схемы с оборотом воды на площадке за-

вода. При этом варианте достигается большая экономия металла, который в значительных количествах расходуется на водоводы. Так, при прямоточном водоснабжении потребуется 3700 т чугунных труб, а при осуществлении схемы с оборотом воды — только 1150 т.

Табл. 2. показывает, что прямоточное водоснабжение завода для данных условий требует значительно больше капиталовложений (на 2252 тыс. руб.), чем оборотное, и дает ежегодный перерасход эксплуатационных затрат на 764 тыс. руб.

Пример 2. Завод размещен в пределах городской черты. Источником водоснабжения служит сеть городского водопровода с напором 25 м. Отработанные стоки сбрасываются в городскую канализацию.

Потребность завода в воде преимущественно для целей охлаждения компрессоров составляет 20 м³/час.

Стоимость 1 м³ воды, взятой из городского водопровода, — 40 коп., стоимость сброса 1 м³ стоков в городскую канализацию — 10 коп.

При охлаждении компрессоров непосредственно от сети городского водопровода завод должен уплатить городским организациям:

$$20 (0,40 + 0,10) \cdot 24 \cdot 320 = 76\,800 \text{ руб. в год.}$$

Таблица 3

Стоимость системы оборотного водоснабжения компрессорной

Наименование работ	Материал	Единица измерения	Количество	Строительная стоимость		Эксплуатационные затраты	
				единицы (руб.)	всего (тыс. руб.)	годовые отчисления (%)	сумма (тыс. руб.)
Открытая градирня площадью орошения 4 м²	Дерево	шт.	1	10 000	10,0	9,5	0,95
Здание насосной установки	Кирпич	м³	70	120	8,4	4,0	0,34
Насосное оборудование	—	квт	7,3	400	2,9	8,8	0,26
Стоимость электроэнергии в год:							
оплата установленной мощности	—	квт	7,3	—	—	400 руб. за 1 квт	2,92
оплата электроэнергии	—	—	—	—	—	0,20 руб. за 1 квт/час	12,73
Всего					21,3		17,2 в год

Для оборота воды на площадке завода требуется построить охладитель и насосную установку.

В качестве охладителя проектируется открытая капельная градирня площадью орошения 4 м².

Насосная установка должна состоять из двух групп насосов — для подачи охлажденной воды к компрессорам и теплой воды на градирню.

Потребный напор насоса первой группы принимаем в 25 м, второй — 12 м.

Проектируется установка одного рабочего насоса типа 2К-6а производительностью 20 м³/час, напором 25,2 м с электродвигателем мощностью 2,8 кВт и одного рабочего насоса типа 2К-9а производительностью 20 м³/час, напором 13,5 м с электродвигателем мощностью 1,7 кВт. В качестве резервного насоса для обслуживания компрессорной принимается насос типа 2К-6а.

Эти три агрегата устанавливаются в здании компрессорной установки или в пристроенном к ней помещении, занимая площадь 3×5,5 м.

По аналогии с ранее приведенным примером рассмотрим технико-экономические показатели стоимости строительства и эксплуатации оборотной системы производственного водоснабжения компрессорной.

Из табл. 3 видно, что строительная стоимость оборотной системы составляет около 30% от ежегодных эксплуатационных затрат, которые несет завод, оплачивая стоимость воды, полученной из городского водопровода.

Эксплуатация собственной оборотной системы водоснабжения компрессорной позволит в 15 раз сократить количество получаемой от города воды с учетом потерь в охладителе в размере 6—7% от всего расхода воды и снизить сумму годовых расходов с 77 тыс. до 17,2 тыс. руб.

ГЛАВА III

ВЫБОР ТИПА ОХЛАДИТЕЛЕЙ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ. РАЗМЕЩЕНИЕ НА ПЛОЩАДКАХ

В практике проектирования водоснабжения промышленных предприятий применяются следующие типы охладителей:

- а) пруды-охладители;
- б) брызгальные устройства;
- в) градирни.

Пруды-охладители относятся, как правило, к внеплощадочным сооружениям, остальные типы водоохладителей размещаются непосредственно на промышленной площадке.

Выбор оптимального типа охладителя для проектируемой системы производственного водоснабжения в каждом случае зависит от требований, обусловленных технологией данного производства, и местных условий. К последним, например, относятся расположение площадки, на которой может быть размещен водоохладитель, гидрогеологические условия, количество и качество охлаждаемой воды. Одним из решающих факторов являются технико-экономические показатели.

Выбор типа охладителя, расчетного перепада температур и расхода воды связан с технологическим процессом и характеристикой охлаждаемого оборудования.

Количество тепла, которое должно быть отнято водой от охлаждаемого агрегата при расчетном параметре его работы, остается постоянным. При различных количествах подаваемой воды изменяется степень ее нагрева (температурный перепад). Выбрав охладитель с более глубоким охлаждением воды, можно снизить расчетное количество охлаждающей воды и тем самым уменьшить требуемую поверхность холодильной аппаратуры и ее стоимость, а также снизить строительную стоимость общезаводского водопроводного хозяйства. Последнее обстоятельство особенно важно для оборотных циклов, в которых вода перед охлаждением должна пройти осветление.

Так, например, в оборотных циклах водоснабжения, предназначенного для газоочистки доменного газа, вода осветляется в радиальных отстойниках. Если для получения охлажденной

воды с температурой 30—32° применять брызгальные бассейны вместо вентиляторных градирен, то площадь, а следовательно, и объем отстойников, так же как мощность насосного оборудования, должны увеличиться примерно в два раза.

Большое количество агрегатов имеет типовые конструкции холодильников, рассчитанные на определенный расход воды.

В ряде случаев может оказаться целесообразным изменение типовых решений холодильников. При этом выбор холодильников должен производиться в тесной увязке с выбором типа и размеров водоохладителей.

Неправильный выбор охладителя без учета технологических требований к температуре охлажденной воды может привести к серьезному ухудшению условий эксплуатации. Так, например, при использовании для воздухоохладителей моторов прокатных цехов башенных градирен температура охлажденной воды в этих градирнях в районах с жарким климатом в отдельные дни может доходить до 35°, что превышает предельно допустимую температуру для этого оборудования.

При применении вентиляторных градирен температура охлажденной воды будет на 5—6° ниже, что обеспечивает надежные условия работы электроприводов.

При установлении расчетных параметров для водоохладителей необходимо критически подходить к технологическим требованиям. Неоправданным, например, является требование подачи для охлаждения компрессоров воды с температурой 20—25° или выбор расхода воды для компрессорных установок, исходя из температурного перепада 20° (с 45 до 25°).

Для подобных установок лучше использовать в жаркое время года охлаждающую воду с температурой 30—33° при перепаде температур до 10°, что позволит применять дешевые в эксплуатации брызгальные устройства, а также открытые или башенные градирни.

При подборе типовых проектов охладителей нередко выбирают градирни, площадь которых превышает требуемую по расчету.

Такое завышение площади орошения градирен, помимо увеличения затрат на строительство, значительно усложняет условия их эксплуатации в зимнее время из-за интенсивного обмерзания вследствие недостаточной тепловой нагрузки.

Ниже приводятся данные по различным типам охладителей, которые следует иметь в виду при проектировании.

§ 1. Пруды-охладители

Пруды-охладители целесообразно применять при расположении площадки промышленного предприятия вблизи естественного водоема или реки, на которых уже созданы или имеются благоприятные условия для сооружения водохранилища.

В отдельных случаях может оказаться целесообразным создание искусственного пруда с подкачкой в него воды из ближайшего источника водоснабжения.

Пруды-охладители могут обеспечить в течение значительной части года более низкие температуры охлажденной воды, чем бассейны с брызгалами и градирни (см. рис. 4).

При применении прудов-охладителей нет необходимости в создании напора для разбрызгивания воды и подачи пополнения в оборотный цикл.

В некоторых случаях возможно снижение напора насосов, подающих воду к потребителям за счет использования явления сифона, например для конденсаторов паровых турбин электростанций.

В то же время пруды-охладители требуют наличия большой площади, значительных капитальных затрат на их строительство.

Для ориентировочных расчетов можно принимать необходимую для охлаждения площадь активной зоны пруда в среднем от 30 до 40 м² на 1 м³ охлаждаемой воды в час, что соответствует нагрузке на 1 м² активной площади пруда от 0,025 до 0,033 м³/час.

§ 2. Брызгальные бассейны

Брызгальные бассейны просты в строительстве и эксплуатации и требуют небольших затрат на их сооружение. Однако они обладают сравнительно низкой охлаждающей способностью, зависящей от направления и скорости ветра. Поэтому для районов с продолжительными штилями в летнее время, а также при наличии застроенной территории, где строения преграждают свободное поступление потока воздуха к охладителю, применение бассейнов с брызгалами не может быть рекомендовано.

Потери воды в брызгальных бассейнах больше, чем в градирнях, за счет большего уноса брызг ветром. Наличие туманообразования и возможность обмерзания окружающих зданий, проездов и железных дорог требуют расположения бассейнов на значительном расстоянии от прочих сооружений, что связано с удлинением коммуникаций подводящих и отводящих трубопроводов.

Для размещения бассейнов требуется наличие больших спланированных площадок.

Необходимая площадь брызгальных бассейнов составляет в среднем от 0,8 до 1,3 м² на 1 м³ охлаждаемой воды в час. При исчислении нагрузки на 1 м² бассейна это составит 0,8 м³/час — для небольших и до 1,3 м³/час — для больших бассейнов.

§ 3. Открытые градирни (брызгальные и капельные)

По условиям охлаждения воды открытые брызгальные градирни близки к брызгальным бассейнам. Эффект охлаждения в них также в большой степени зависит от силы ветра. По условиям продуваемости ширину открытых градирен не рекомендуется делать более 4,5 м.

Открытые брызгальные градирни обычно применяются при небольших расходах воды — до 300 м³/час.

Достоинством их является простота конструкции и невысокая строительная стоимость. Малые установки могут размещаться даже на крышах зданий. Однако при этом следует опасаться большого уноса воды ветром, туманообразования и обмерзания градилен в зимнее время.

Недостатком брызгальных градирен является сравнительно низкий охлаждающий эффект.

Открытые капельные градири обладают значительно большей охлаждающей способностью, чем брызгальные, и применяются для расходов воды до $1000 \text{ м}^3/\text{час}$.

Этот тип открытых градирен обладает теми же недостатками, как и брызгальные бассейны. Однако, учитывая простоту конструкций и меньшую стоимость по сравнению с башенными градирями, они могут быть рекомендованы для дизельных, компрессорных подстанций и других небольших установок, нетребовательных к постоянству температуры охлаждающей воды.

Для ориентировочного определения нагрузки на 1 м² оросителя открытой брызгальной градирни можно принимать от 1,5 до 3 м³ воды в час, для открытой капельной — от 2 до 4 м³/час, в зависимости от местных климатических условий и требуемой температуры охлажденной воды, что соответствует потребной площади градирен для охлаждения 1 м³/час в среднем: для открытых брызгальных градирен — от 0,6 до 0,35 м² и для открытых капельных — от 0,5 до 0,25 м².

§ 4. Башенные градирни

При повышенных требованиях к температурам охлажденной воды применяются башенные градирни. Благодаря наличию тяги воздуха, создаваемой башней, градирни этого типа обладают большей и более устойчивой охлаждающей способностью, чем открытые градирни.

Наличие вытяжных башен у градирен позволяет располагать их на незначительном расстоянии от производственных зданий.

К недостаткам башенных градирен относятся сравнительно высокая их стоимость и сложность сооружения. Эксплуатация выполненных из дерева оросительных устройств градирен обходится дорого. Много затруднений вызывает обмерзание градирен в зимний период. Поэтому при выборе размеров градирен

следует учитывать условия их работы зимой. Нельзя допускать малых гидравлических нагрузок. Эти нагрузки не должны быть менее $3 \text{ м}^3/\text{м}^2$ оросителя в час для капельных и $4\text{—}5 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{час}$ для пленочных градири. При меньших нагрузках должна предусматриваться возможность отключения центральной части градири с целью повышения плотности орошения на периферийной части или отключение отдельных градири.

При отключении градирен на зимний период должны быть предусмотрены мероприятия по отпелению бассейнов путем создания циркуляции воды в них за счет выпуска воды из них в канализацию или подвода пара.

Выбор типа оросителя для башенных градирен зависит от качества воды, поступающей на охладитель.

Для чистой воды, проходящей закрытые системы холодильников, например конденсаторы паротурбин, доменные печи, рекомендуется применять пленочный ороситель, позволяющий при той же охлаждающей способности повысить в 1,5—2 раза гидравлическую нагрузку по сравнению с капельным оросителем. При наличии в охлаждаемой воде взвесей в сочетании с маслами или нефтепродуктами применение пленочного оросителя может повлечь за собой забивку промежутков между щитами отложениями.

В этом случае целесообразно применение капельного орошения или брызгал.

Однако башенные брызгальные градирни в связи с недостаточной поверхностью охлаждения, создаваемой путем разбрызгивания воды соплами, имеют более низкую охлаждающую способность, чем градирни с капельным и тем более с пленочным орошением.

Средние гидравлические нагрузки на 1 м² площади оросителя для башенных градирен могут назначаться:

для градирен с брызгальным оросителем	до 3	м ³ /час
" " " капельным "	4	"
" " " пленочным "	6	"

Потребная площадь орошения, приходящаяся на 1 м³ расхода охлаждаемой воды, составляет:

для градирен с брызгальным оросителем . . .	до 0,3	м ² /час
" " " капельным " . . .	0,25	"
" " " пленочным " . . .	0,16—0,14	"

§ 5. Вентиляторные градирни

Вентиляторные градирни являются наиболее совершенным типом охладителя, обеспечивающим устойчивое и наиболее глубокое охлаждение воды, позволяют регулировать температуру

охлажденной воды в требуемых пределах путем изменения числа оборотов или отключения отдельных вентиляторов.

Применение вентиляторных градирен целесообразно во всех случаях, когда технологический процесс требует подачи охлаждающей воды с минимальной температурой, а также для районов с высокими температурами воздуха.

Стоимость строительства вентиляторных градирен обычно ниже, чем башенных градирен той же производительности.

Однако для вентиляторных градирен необходим расход электроэнергии на привод вентиляторов. Кроме того, эксплуатация механического оборудования более сложна.

При большой стоимости электроэнергии эксплуатационные расходы, связанные с работой вентиляторной градирни, могут поставить под сомнение целесообразность использования этого типа градирни. Однако в ряде случаев технологические показатели, связанные с наличием более низких температур охлажденной воды, могут компенсировать расходы на электроэнергию.

Нагрузка на 1 м² площади оросителя вентиляторной градирни ориентировочно может приниматься:

для градирни с капельным оросителем	до 6—8	м ³ /час
" " пленочным	8—10	"
" " брызгалами	5—6	"

Потребная площадь вентиляторных градирен на 1 м³ охлаждаемой воды в час составляет в среднем:

при капельном оросителе	0,15—0,12	м ² /час
" пленочном	0,12—0,10	"
" брызгалах	0,20—0,16	"

§ 6. Радиаторные градирни

Радиаторные градирни являются поверхностными охладителями, в которых тепло передается от воды к воздуху через стенки радиаторов.

Радиаторные охладители могут применяться как для непосредственного охлаждения продуктов производства, например конденсации, так и для охлаждения воды, охлаждающей, в свою очередь, теплообменные аппараты. В последнем случае будут иметь место два замкнутых цикла (контура) охлаждения: водяной — для теплообменников и воздушный — для снижения температуры охлаждающей воды.

При такой схеме охлаждения отсутствуют потери охлаждающей воды на испарение, унос брызг ветром и т. п., а наличие замкнутого цикла исключает возможность загрязнения воды и максимально сохраняет чистоту поверхности теплообменных аппаратов.

Несмотря на значительный перерасход металла и более вы-

сокую строительную стоимость по сравнению со всеми другими типами искусственных охладителей, применение воздушных радиаторных градирен может оказаться целесообразным для районов, где отсутствует возможность получения из источника необходимого количества свежей воды для пополнения потерь в оборотной системе водоснабжения.

Эти охладители рационально применять также для охлаждения специальной аппаратуры, требовательной к качеству охлаждающей воды.

§ 7. Размещение охладителей на площадках

Требования к расположению охладителей производственной воды перечислены в Нормам и Технических условиях на проектирование наружного водопровода промышленных предприятий (НигТУ 126-55).

При размещении охладителей на площадке следует стремиться к меньшей протяженности циркуляционных трубопроводов и каналов, а также учитывать условия работы охладителей, т. е. скорость и направление господствующих ветров в зимний и летний периоды года, туманообразование в зимний период года и вынос ветром воды за пределы охладителей, влияющий на обмерзание сооружений, расположенных вблизи охладителей.

Минимально допустимые расстояния между охладителями и автодорогами должны приниматься согласно табл. 4.

Таблица 4
Минимальные допустимые расстояния (в м)

Наименование сооружения	Расстояние до брызгальных устройств	Расстояние до башенных градирен	Расстояние до секционных вентиляторных градирен и открытых брызгальных градирен
Брызгальные бассейны	—	40—60	40—60
Градирни башенные	40—60	20—40	20—40
Градирни вентиляторные секционные	40—60	20—40	20—40
Забор, ограждающий площадку . .	15—20	10—15	15—20
Автодороги:			
общего пользования	60—80	20	30—60
внутризаводские	30	15	15—20

Примечание. Нижние пределы указанных расстояний принимаются для малых охладителей (градирен производительностью до 200—300 м³/час и брызгальных бассейнов производительностью до 1500—2000 м³/час) при расположении их с подветренной стороны по отношению к прочим сооружениям.

При размещении на площадках брызгальных устройств, башенных и секционных вентиляторных градирен необходимо при-

нимать во внимание направление господствующих ветров в летний и зимний период года, располагая их так, чтобы:

а) направление ветров, господствующих в летний период года, было по возможности перпендикулярным к длинной стороне брызгальных бассейнов и открытых градирен и торцовой стороне секционных вентиляторных градирен;

б) выносимые господствующими ветрами в зимнее время пары отводились в сторону от основных сооружений и дорог.

Минимальные разрывы между зданиями и сооружениями и водоохладителями во избежание увлажнения или обледенения должны приниматься согласно табл. 5.

Таблица 5

Минимальные разрывы между зданиями, железнодорожными путями и водоохладителями

Наименование здания и сооружения	Расстояния от зданий и сооружений в м	
	до брызгального бассейна	до градирни
Здание со стенами из красного кирпича, тяжелого бетона и других плотных материалов, выдерживающих не менее чем 15-кратное замораживание .	40	20
Здание со стенами из шлакобетона или других легких бетонов, выдерживающих не менее 15-кратного замораживания	50	25
Железнодорожные пути:		
подъездные и сортировочные	80	40
внутризаводские	30	20

Примечания. 1. Для районов с расчетными температурами воздуха ниже -35° разрывы, указанные в таблице, увеличиваются на 25%, выше -20° — разрывы уменьшаются на 25%.

2. Разрывы между водоохладителями и открытыми распределительными устройствами и понизительными подстанциями электрической сети принимаются: при подветренном расположении открытого распределительного устройства — не менее 60 м от градирни и 120 м от брызгальных бассейнов; при наветренном — не менее 40 м от градирни и 80 м от брызгальных бассейнов. Направление господствующих ветров следует принимать по зимнему периоду.

ГЛАВА IV

ОХЛАДИТЕЛИ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ

А. ПРУДЫ-ОХЛАДИТЕЛИ

§ 1. Общие сведения

Охлаждение нагретого потока воды в прудах-охладителях происходит за счет теплоотдачи с площади зеркала пруда, участвующей в циркуляции воды на ее пути от сброса до водозаборных сооружений. Пределом охлаждения воды в пруду является естественная температура пруда.

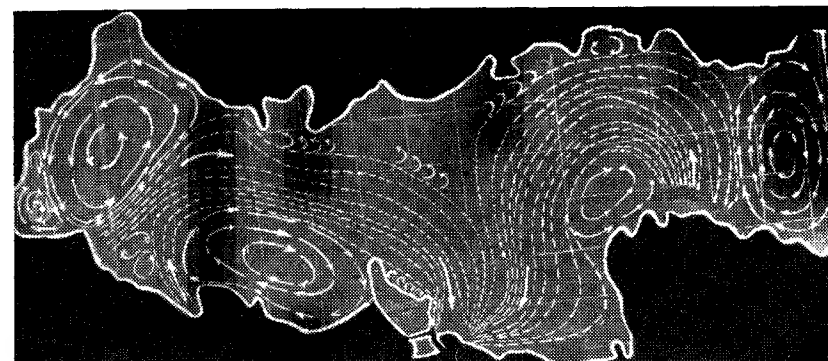


Рис. 5. План течений в пруду, полученный на модели

Основным показателем, определяющим охлаждающую способность пруда, является площадь активной зоны, учитывающая охлаждающую способность циркуляционного (транзитного) потока и смежных с ним водоворотов.

Величина активной зоны пруда обычно меньше площади зеркала пруда. Отношение площади активной зоны к площади зеркала пруда называется коэффициентом использования площади пруда.

Коэффициент использования площади пруда зависит от формы пруда, схемы расположения водозабора и водосброса и условий растекания циркуляционного потока.

Для определения площади активной зоны пруда необходимо знать площадь, которую занимают циркуляционный поток и водовороты, т. е. знать план течений пруда.

Построение плана течений может быть в отдельных простых случаях произведено теоретическим путем.

При сложных схемах циркуляции план течений строится на основании данных лабораторных исследований, проводимых на гидравлических или воздушных моделях (рис. 5).

Теоретические основы теплового и гидравлического расчета прудов-охладителей были разработаны русским ученым Н. М. Бернадским и развиты в дальнейшем Б. В. Проскураковым, В. И. Новоторцевым, А. А. Петровым и др.

§ 2. Схемы циркуляции и организация прудов-охладителей

Схема циркуляции воды в проектируемом пруду определяется взаимным расположением водоприемных и водосбросных сооружений, а также сооружениями, повышающими коэффициент использования пруда путем вовлечения в циркуляцию дополнительной площади зеркала пруда. К ним относятся:

а) струераспределительные сооружения, предназначенные для расширения фронта растекания циркуляционного потока;

б) струенаправляющие сооружения, предназначенные для удлинения пути циркуляции воды от водосброса до водозабора.

Струераспределительные сооружения выполняются в виде водосливных сооружений (рис. 6), лотков (рис. 7), напорных труб (рис. 8) и т. д.

Наиболее рациональными являются струераспределительные сооружения, обеспечивающие выпуск теплой воды на поверхность зеркала пруда. Выпуски теплой воды в глубинные слои пруда менее эффективны.

К струенаправляющим сооружениям относятся дамбы из каменной наброски, земляные дамбы с креплением их камнем против размыва волнами, стенки из деревянных шпунтованных свай и т. д.

Выбор схемы циркуляции воды в пруду, а также улучшающих работу пруда сооружений, производится на основании плана течений, тепловых и технико-экономических расчетов.

При решении схем водоснабжения в случае глубоких прудов следует учитывать разность температур поверхностных и глубинных слоев воды, а также возможность расслаивания потоков, имеющих разную температуру.

Для использования глубинных слоев воды применяются сооружения, задерживающие теплые поверхностные слои и обес-

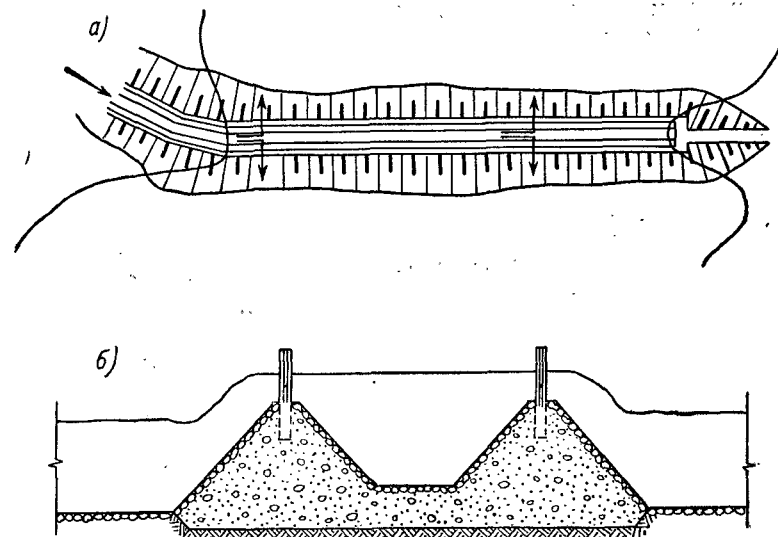


Рис. 6. Струераспределительное сооружение типа водослива с двусторонним выпуском воды:
а—план; б—разрез

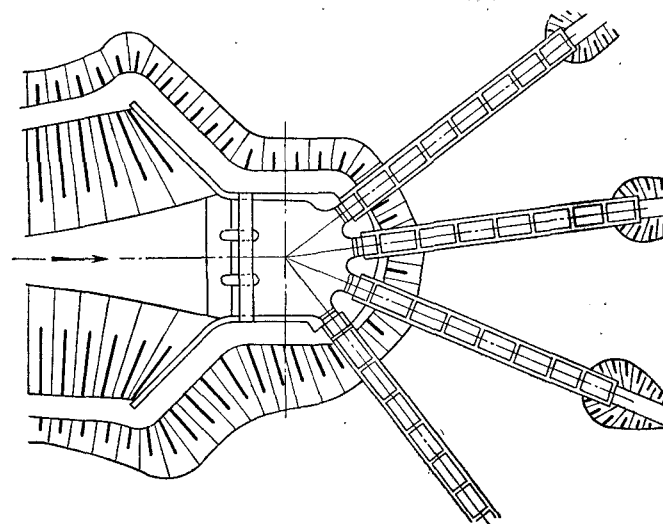


Рис. 7. Струераспределительное сооружение лоткового типа

печивающие поступление к водозабору более холодной воды (рис. 9).

Примером расслаивания потоков может служить рециркуляция теплой воды между сбросным и водозаборным сооружениями при расходах в реке, значительно превышающих расход забираемой воды (рис. 10).

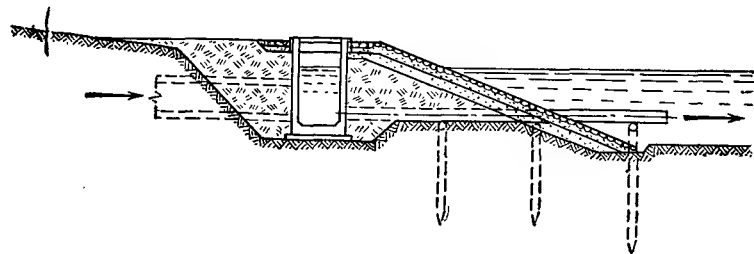


Рис. 8. Струераспределительное сооружение с напорными трубами

Схема циркуляции, представленная на рис. 11, характерна для прудов вытянутой формы с незначительным притоком реки в летний период года. Водоприемные сооружения располагаются в нижней, наиболее глубокой части пруда. Сброс теплой воды осуществляется отводящим каналом в верхнюю часть пруда. Для обогрева водозаборных сооружений в зимний период в схеме предусмотрен укороченный выпуск теплой воды из отводящего канала (зимний водосброс).

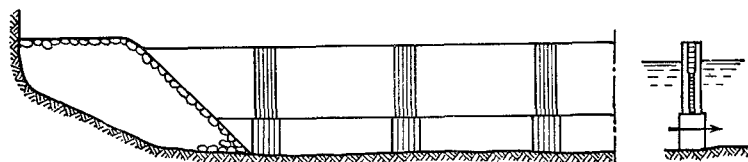


Рис. 9. Перегораживающее сооружение для использования глубинных слоев холодной воды

При значительных расходах реки в летний период является желательным использовать в полной мере низкие температуры речной воды. В этом случае может оказаться целесообразным осуществление водозабора из верхней части пруда с устройством сброса теплой воды как в верхний, так и в нижний бьеф, что дает возможность при наличии больших расходов воды обеспечить работу по прямоточной схеме (рис. 12).

Организация водозабора в верхней части пруда возможна лишь при наличии достаточных глубин, обеспечивающих надежные условия забора воды.

Схема циркуляции при округлой форме пруда приведена на рис. 13. Для удлинения пути циркуляции и повышения коэффи-

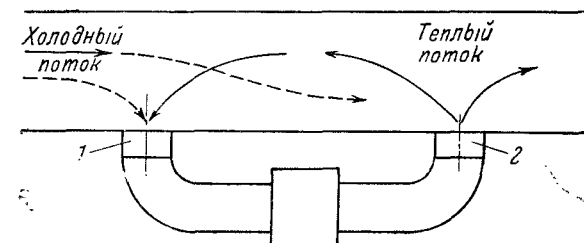
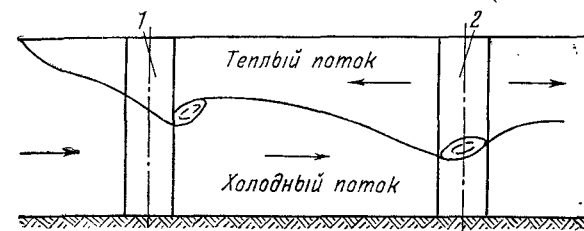


Рис. 10. Рециркуляция поверхностных слоев теплой воды между сбросом и водозабором электростанции:

1—водозабор; 2—водосброс

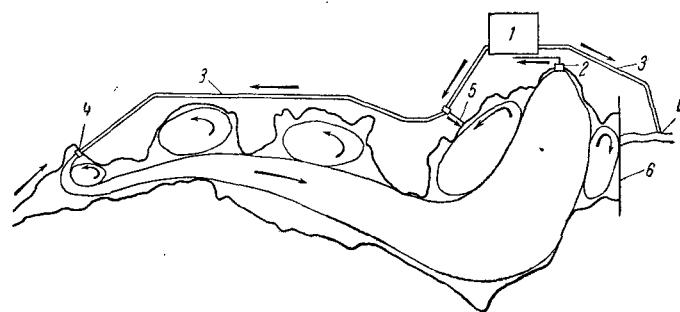


Рис. 11. Схема циркуляции в пруду вытянутой формы:
1—промышленная площадка; 2—насосная станция водозабора; 3—водотводящий канал; 4—сброс теплой воды; 5—зимний сброс; 6—плотина

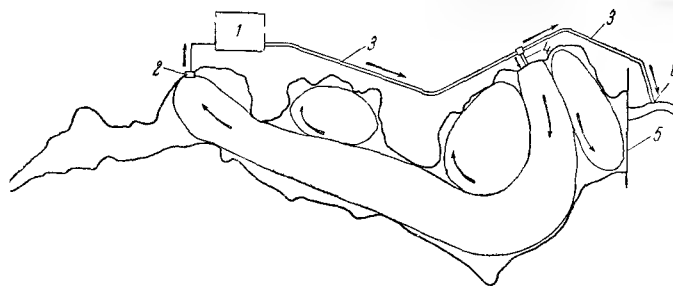


Рис. 12. Схема циркуляции при водозаборе в верхней части пруда:

1—промышленная площадка; 2—насосная станция водозабора; 3—водоотводящий канал; 4—сброс теплой воды; 5—плотина

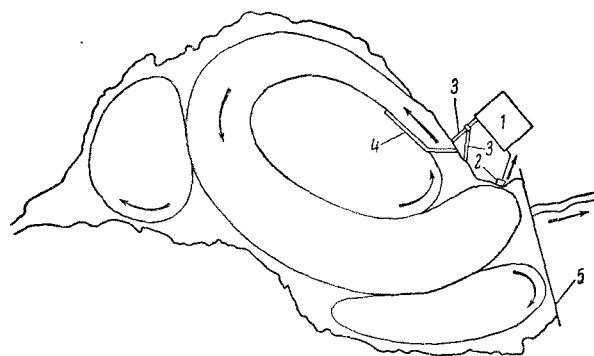


Рис. 13. Схема циркуляции в пруде округлой формы: 1—промышленная площадка; 2—насосная станция водозабора; 3—сброс теплой воды; 4—струенаправляющая дамба; 5—плотина

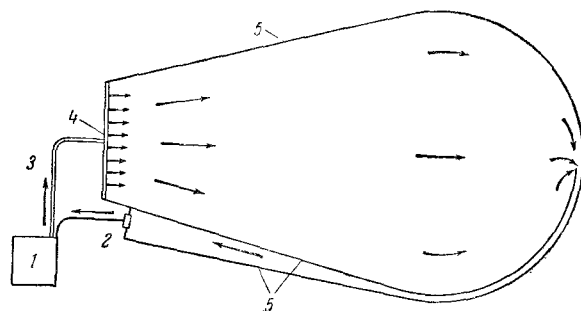


Рис. 14. Схема циркуляции в пруде-охладителе вне водотока:

1—промышленная площадка; 2—насосная станция водозабора; 3—водоотводящий канал; 4—струенаправляющее сооружение; 5—дамба

циента использования площади пруда по этой схеме за выпуском теплой воды в пруд сооружается струенаправляющая дамба.

На рис. 14 приведена схема пруда, образованного в дамбах вне водотока.

Форма пруда выбрана на основании лабораторных исследований, исходя из условия безвозвратных течений, т. е. при максимальном использовании площади зеркала в целях охлаждения воды.

Заполнение пруда и пополнение потерь воды в нем осуществляется из ближайшей реки или водоема.

§ 3. Расчет пруда-охладителя

Расчет пруда заключается в построении плана течений, на основании которого определяются площадь активной зоны пруда и температуры охлажденной воды для среднемесячных условий и условий жаркого периода.

Среднемесячные температуры охлажденной воды в пруде необходимы для технико-экономического обоснования проектного решения, температура охлажденной воды в жаркий период характеризует наиболее неблагоприятные условия работы оборудования и служит для оценки возможной предельной тепловой нагрузки на пруд.

При проектировании пруда может возникнуть необходимость в определении расхода теплой воды через зимний сброс для отопления водозаборных сооружений.

Построение плана течений производится на основании следующих данных:

а) плана пруда в горизонталях с показанием расположения водосброса, водозабора, а также струенаправляющих и струераспределительных сооружений;

б) схемы водосбросных, водозаборных, струераспределительных и струенаправляющих сооружений;

в) расхода циркуляционной воды и горизонта воды в пруде.

г) данных о коэффициенте шероховатости пруда.

Построение плана течений производится для условий плоской задачи, когда скорости потока по вертикали имеют одинаковую величину и направление.

Вследствие отсутствия аналитического решения задачи план течений строится графически, путем последовательных зарисовок линий токов и нормальных к ним поперечников, т. е. построения ортогональной сетки потока. Для этого вначале намечается ось вероятного движения потока от водосброса до водозабора, на которую наносятся через равные расстояния сечения (поперечники).

В пределах участка свободного расширения потока, не стесненного контурами берегов, по заданной начальной его ширине,

определяемой условиями выпуска воды в пруд, по уравнению (5) свободного расширения струи определяется ширина потока в последующих сечениях.

Для участка, где транзитный поток достигает берегов, его направление и очертание диктуется контурами берегов.

Уравнение свободного расширения потока имеет вид:

$$b_x = b_0 \frac{h_0}{h_x} e^{\frac{gn^2}{3} x}, \quad (5)$$

где b_0 и b_x — начальная ширина потока и ширина потока на расстоянии x от начального сечения;

h_0 и h_x — глубина потока в начальном и рассматриваемом сечениях в пределах до 4 м;

e — основание натуральных логарифмов;

g — ускорение силы тяжести;

n — коэффициент шероховатости ложа пруда, принимаемый по данным табл. 6;

x — расстояния между поперечниками.

Таблица 6

Коэффициенты шероховатости ложа пруда

Характеристика пруда	Коэффициент шероховатости
Пруды глубиной до 3 м с большой шероховатостью ложа (лщи, кустарник) или заросшие водной растительностью	0,030—0,040
Пруды глубиной до 3 м при относительно чистом дне и отсутствии зарастания	0,020—0,030
Глубокие пруды при отсутствии или слабом зарастании	0,015—0,020

После построения общего контура потока последний разбивается на несколько (не менее четырех) струй.

Для каждого сечения, начиная от выпуска, определяются границы струй и наносятся поперечники. Построение производится по уравнению закона рисунка:

$$K = \frac{l}{b} = \left(\frac{h}{h_0} \right)^{1,66}, \quad (6)$$

где K — отношение длины клетки (l) к ее ширине (b);

h — средняя глубина рассматриваемой струи;

h_0 — средняя глубина крайней струи, примыкающей к берегу или водовороту.

В тех случаях, когда глубина потока в сечении неодинакова, для построения поперечника вычерчивается профиль русла в пределах рассматриваемого сечения, на котором намечаются

границы струй и определяются средние их глубины. Клетка для крайней струи, примыкающей к берегу или водовороту, принимается квадратной формы.

Длины остальных клеток определяются по уравнению (6).

В случае, если поперечник не получается плавным, а имеет ступенчатую форму, его построение производится заново, с соответствующим изменением размеров клеток (рис. 15).

В тех случаях, когда глубина в сечении потока одинакова, все клетки ортогональной сетки будут иметь квадратную форму, т. е. длины клеток будут равны их ширине, что упрощает по-

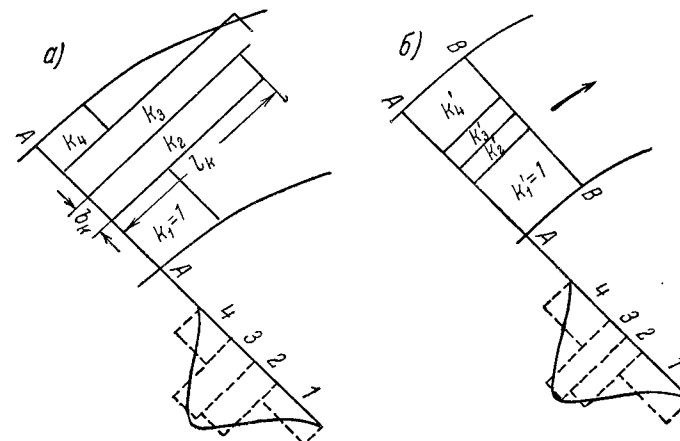


Рис. 15. Схема построения поперечника ортогональной сетки транзитного потока:

а — предварительная схема; б — окончательное решение

строение поперечников. Построение ортогональной сетки производится последовательно от одного сечения к другому до получения ортогональной сетки для всего транзитного потока.

Указанная схема построения плана течений применима для прудов, транзитный поток в которых движется прямолинейно, без резких поворотов. При наличии резких поворотов потока в пределах пруда определение его очертания на участках поворота производится с учетом изменения гидродинамических условий в поперечном сечении по уравнениям продольного и поперечного равновесия потока, имеющим следующий вид.

Уравнение продольного равновесия:

$$H_1 - H_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} - \frac{h^2 v_{cp}^2 x}{h}, \quad (7)$$

где H_1 и H_2 — средние высотные отметки поперечников рассматриваемого участка струи;

v_1 и v_2 — средние скорости на тех же поперечниках участка струи в м/сек;

$v_{\text{ср}}$ — средняя скорость струи в м/сек;

h — глубина пстока.

Уравнение поперечного равновесия:

$$H'_1 - H'_2 = \frac{v_{\text{ср}} b_{\text{ср}}}{gr}, \quad (8)$$

где H'_1 и H'_2 — средние высотные отметки на контурах среднего поперечника участка струи;

$b_{\text{ср}}$ — средняя ширина участка струи;

r — средний радиус кривизны продольной оси участка струи.

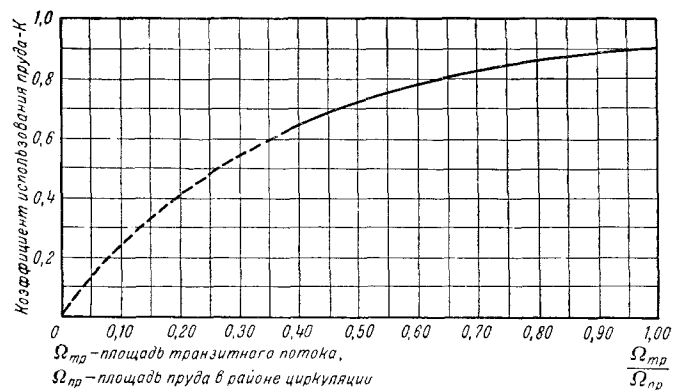


Рис. 16. График для определения коэффициента использования пруда

Совпадение средних отметок свободной поверхности струи в пределах рассматриваемого участка, вычисленных по уравнениям (7) и (8), указывает на правильность заданной ширины струй и кривизны потока.

В противном случае требуется соответствующее изменение очертания потока до соблюдения условия совпадения отметок.

Определение площади активной зоны пруда производится на основании плана течений, по которому определяются его общая площадь в районе циркуляции $\Omega_{\text{пр}}$ и площадь транзитного потока $\Omega_{\text{тр}}$.

Площадь пруда в районе циркуляции определяется с включением в нее площади транзитного потока и смежных с ним водоворотов.

Затем по отношению $\frac{\Omega_{\text{тр}}}{\Omega_{\text{пр}}}$ по графику на рис. 16 опреде-

ляется коэффициент использования площади пруда и площадь активной зоны пруда $\Omega_{\text{акт}}$, равная:

$$\Omega_{\text{акт}} = K \Omega_{\text{пр}}. \quad (9)$$

Основные расчетные зависимости для теплового расчета. Кривые падения температур и номограмма. Для расчета естественных температур воды исходным является уравнение теплового баланса водоема, имеющее при установившемся тепловом режиме вид:

$$R - A(e'_m - e) - B(Kt_e - T) = 0, \quad (10)$$

где A — коэффициент теплоотдачи испарением, зависящий от скорости ветра, определяемый из уравнения

$$A = 0,231(1 + 0,135 \cdot W_{200}) \text{ м} \cdot \text{кал/м}^2 \cdot \text{сутки} \cdot \text{мм} \quad (11);$$

B — коэффициент конвективной теплоотдачи, равный:

$$B = 0,48A \frac{\text{м} \cdot \text{кал}}{\text{м}^2 \cdot \text{сутки} \cdot \text{град}}; \quad (12)$$

W_{200} — скорость ветра на высоте 2,0 м от поверхности воды в м/сек, принимаемая равной $0,7 W_{\text{ф}}$, где $W_{\text{ф}}$ — скорость ветра, наблюдаемая на высоте флюгера;

e'_m — максимальная упругость паров в мм рт. ст. определяемая по естественной температуре воды;

e — абсолютная влажность воздуха в мм рт. ст.;

T — температура воздуха в град.;

t_e — естественная температура воды в град.;

K — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения температуры воды по глубине пруда, равный отношению температуры поверхности воды к средней температуре воды по глубине. Коэффициент K изменяется от 1,05 у водосброса до 1 у водозабора. В тепловых расчетах прудов коэффициент K обычно принимается равным 1;

R — радиационный баланс, равный приходу тепла от солнечной радиации, за вычетом потерь тепла на отражение и излучение с водной поверхности в естественных условиях.

Приводя уравнение (10) к виду, удобному для определения t_e , имеем:

$$t_e + 2,08e'_m = 2,08 \left(e + \frac{R}{A} \right) + T. \quad (13)$$

Значение t_e определяется из уравнения (13) подбором. Для упрощения расчета t_e может быть использован график (рис. 17).

Так как уравнение (13) справедливо для условий установившегося теплового режима пруда, то значение t_e может опреде-

ляться для средних установившихся условий расчетного периода (декада, месяц).

При определении среднемесячных естественных температур за IV—VI и VIII—XI месяцы требуется ввести поправки в соответствии с графиком, представленным на рис. 18. Для IV—VI месяцев эта поправка вычитается из вычисленного значения t_e , для VIII—XI месяцев поправка прибавляется.

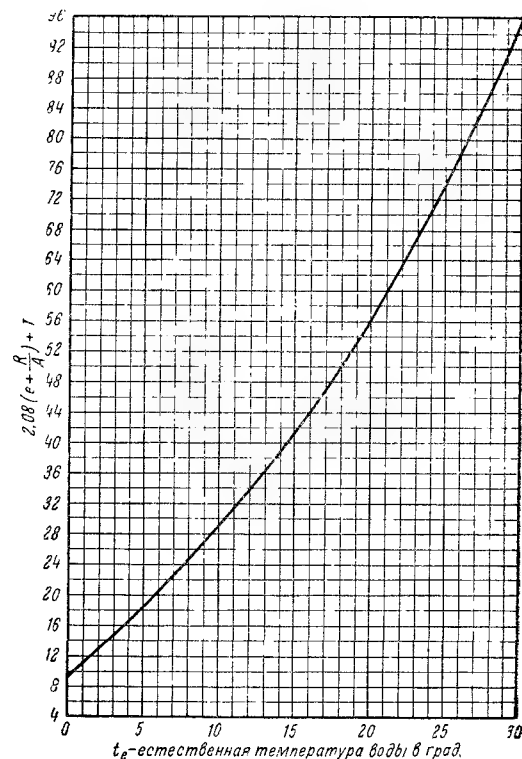


Рис. 17. График для определения естественной температуры воды

Для зимнего периода естественная температура воды является условной и имеет отрицательное значение.

При приближенных расчетах среднемесячные значения естественных температур воды могут определяться по формуле:

$$t_e = 1.5^\circ + bT, \quad (14)$$

где b — параметр, зависящий от климатических условий и определяемый в зависимости от района расположения пруда-охладителя по карте на рис. 19.

При определении естественной температуры воды за сравнительно короткий отрезок времени, например за сутки, прихо-

дится иметь дело с неустановившимся тепловым режимом, при котором на температуру воды в значительной степени влияет теплоаккумулирующая способность пруда, зависящая от его глубины.

Чем глубже водоем, тем больше его тепловая инерция, а поэтому температура воды в нем будет медленнее реагировать на изменения метеорологических условий. В этих случаях пренебрежение теплоаккумулирующей способностью водоема приводит к большим погрешностям при расчете температур воды.

Для расчета среднесуточных естественных температур воды может быть использовано уравнение теплового баланса для неустановившегося теплового режима пруда, имеющее вид:

$$R - A(e'_m - e) - B(kt_e - T) = \frac{dt}{dt} H_{\text{расч}}, \quad (15)$$

где $H_{\text{расч}}$ — расчетная глубина пруда, активно участвующая в теплообмене. $H_{\text{расч}}$ может приниматься равной средней глубине пруда, но не свыше 4 м, так как более глубокие слои пруда практически не уча-

ствуют в процессе теплообмена;

$\frac{dt}{dt}$ — изменение температуры воды во времени.

В связи со сложностью расчета неустановившегося теплового режима определение максимальных среднесуточных естественных температур воды рекомендуется производить приближенно, исходя из их отклонений от средних, за жаркий период естественных температур воды.

Эти отклонения по данным исследований могут быть приняты равными:

при средней глубине пруда от 2 до 3 м от 3 до 2°
 " " " " " 3 " 4 " " 2 " 1.5°

Уравнение теплового баланса пруда-охладителя при установившемся его режиме имеет вид:

$$Q\Delta t = [A(e_m - e) + B(Kt_{cp} - T) - R + \Delta I] Q_{\text{акт}}, \quad (16)$$

где Q — расход циркуляционной воды;
 Δt — перепад температуры;

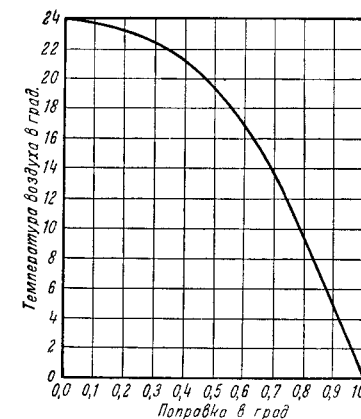


Рис. 18. График поправок к среднемесячным естественным температурам воды

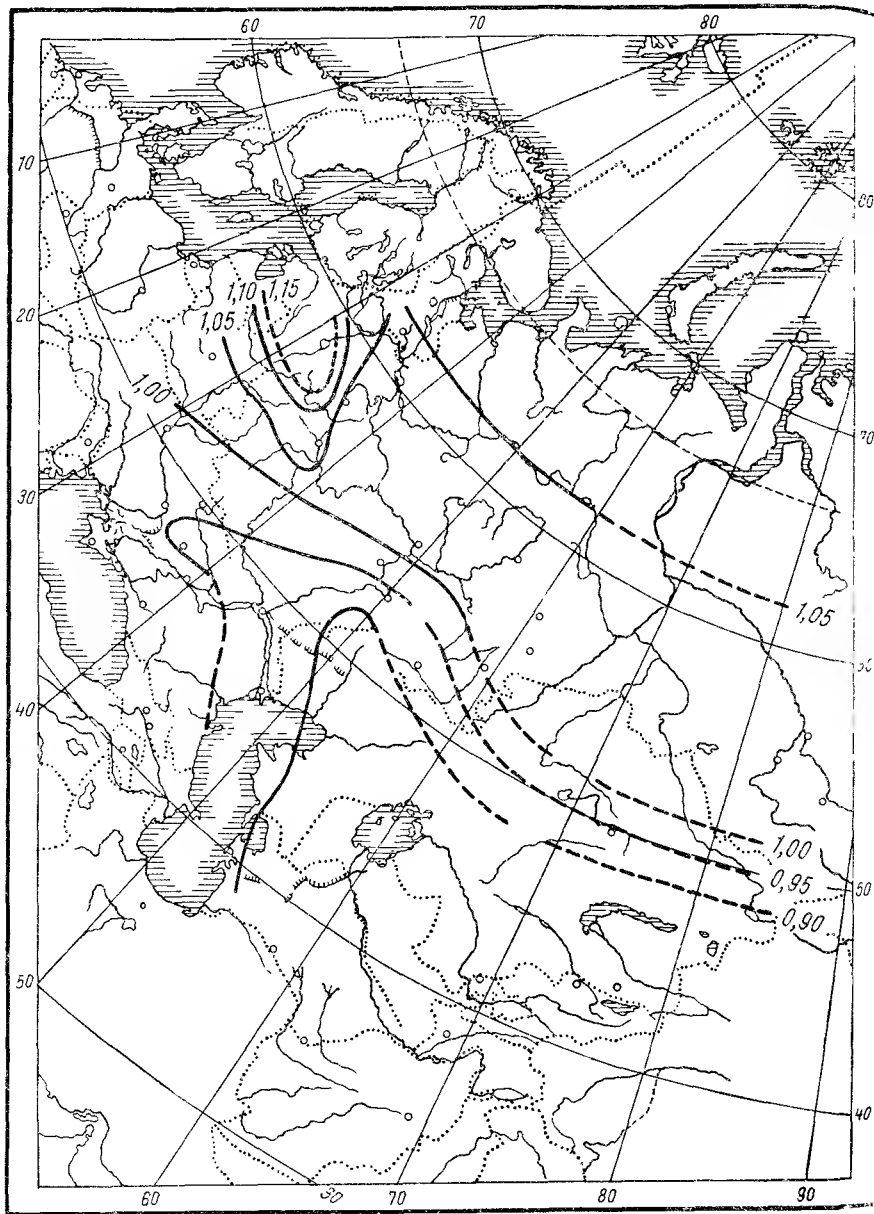


Рис. 19. Карта для определения параметра b

t_{cp} — средняя температура активной зоны пруда;
 $\Omega_{акт}$ — площадь активной зоны пруда;
 ΔI — потеря тепла на дополнительное излучение с водной поверхности, вызванная ее подогревом, сбрасываемым в пруд теплом.

$$\Delta I = K(t_{cp} - t_e), \quad (17)$$

где K — коэффициент, определяемый в зависимости от температуры воздуха по графику на рис. 20;

$(t_{cp} - t_e)$ — перегрев средней температуры активной зоны пруда t_{cp} над естественной температурой воды t_e .

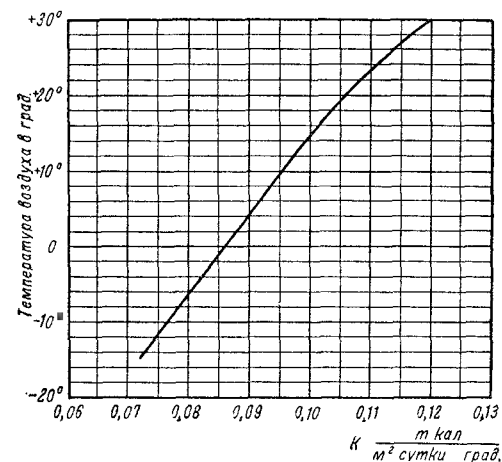


Рис. 20. График для расчета дополнительного излучения

Средняя температура активной зоны пруда t_{cp} приближенно может быть определена из уравнения:

$$t_{cp} = t_e + \frac{\Delta t}{\ln \frac{t_1 - t_e}{t_2 - t_e}}. \quad (18)$$

Изменение температуры нагретого потока воды вдоль площади активной зоны пруда выражается уравнением:

$$\omega_{уд} = \frac{\Omega_{акт}}{Q_1} = \int_{t_2}^{t_1} \frac{dt}{F(t)}, \quad (19)$$

где

$$F(t) = R - A(e_m - e) - B(Kt - T) - \Delta I; \quad (20)$$

$\omega_{уд}$ — удельная площадь активной зоны в $\text{м}^2/\text{м}^3$ сутки;
 t_1 — начальная температура воды;
 t_2 — температура охлажденной воды;
 e_m — максимальная упругость водяных паров, определяемая по заданной температуре воды.

Для упрощения тепловых расчетов метеорологические условия R , T и e , входящие в уравнение 20, могут быть заменены естественной температурой воды t_e , при этом уравнения (19) и (20) приобретают следующий вид:

$$F(t) = (Ae_m + Bkt) - (Ae'_m + Bkt_e) + \Delta I; \quad (21)$$

$$\omega_{уд} = \int_{t_2}^{t_1} \frac{dt}{(Ae_m + Bkt) - (Ae'_m + Bkt_e) + \Delta I}. \quad (22)$$

С помощью уравнения (22) по заданным значениям t_e и W_{200} методом конечных разностей могут быть определены значения $\omega_{уд}$ и построены кривые падения температуры воды вдоль площади активной зоны пруда.

По кривым падения температур воды можно решить следующие задачи:

а) по заданной удельной площади активной зоны пруда и перепаду температур определяются температуры забираемой и сбрасываемой воды;

б) по заданным температурам водозабора и водосброса определяется необходимая площадь активной зоны пруда;

в) по заданной температуре сброса и удельной площади активной зоны определяется температура охлажденной воды.

Для зимних условий по кривым падения температуры могут быть определены площадь пруда, свободная от ледяного покрова, а также расход воды, требуемый для отопления водозаборных сооружений. Для определения площади пруда, свободной от льда, по температуре сбрасываемой воды и температуре воды у кромки льда, принимаемой равной 0° , по кривой падения температуры определяется величина $\omega_{уд}$. Площадь пруда, свободная от ледяного покрова, будет равна:

$$Q_n = \omega_{уд} Q \quad (23)$$

Расход воды, необходимой для отопления водозаборных сооружений $q_{сбр}$, определяется из уравнения:

$$q_{сбр} = Q - \frac{t_2' - t_2}{\Delta t}, \quad (24)$$

где Q — расход транзитного потока, поступающий к водозаборному сооружению;

t_2' — температура транзитного потока у водозабора;

t_2 — необходимая температура подогретой воды у водоза-

борных сооружений, принимаемая в пределах от 3 до 5° .

Кривые падения температур воды для летнего периода года для значений t_e от 0 до 30° при скорости ветра $2,0 \text{ м/сек}$ при-

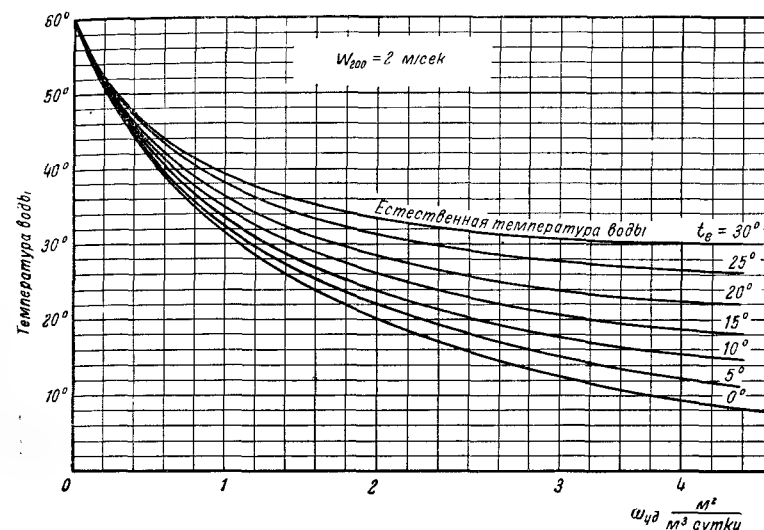


Рис. 21. Кривые падения температуры воды для летнего периода при $W_{200} = 2 \text{ м/сек}$

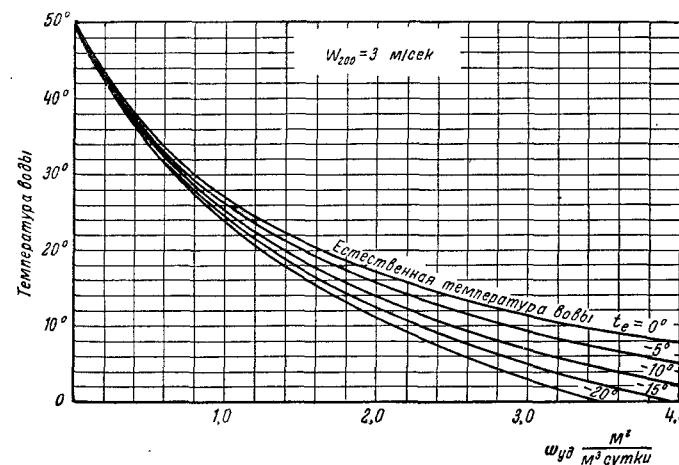


Рис. 22. Кривые падения температуры воды для зимнего периода при $W_{200} = 3 \text{ м/сек}$

ведены на рис. 21. Кривые падения температур в зимний период для t_e от 0 до -20° при скорости ветра 3 м/сек приведены на рис. 22.

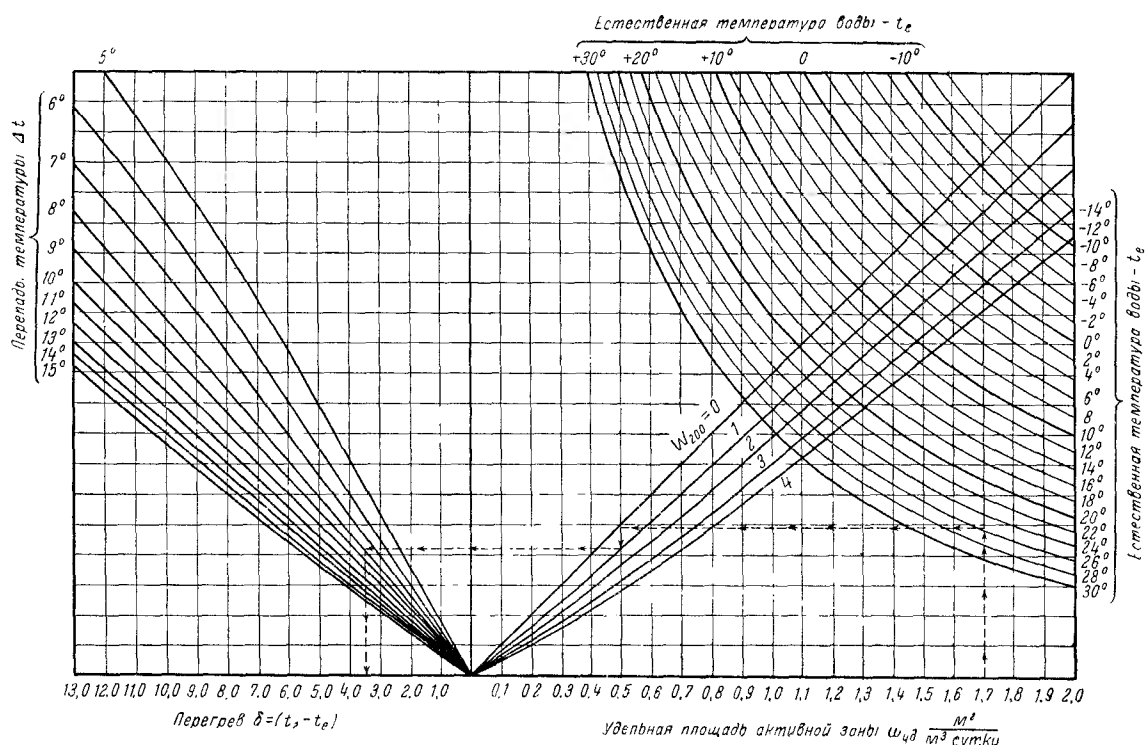


Рис. 23. Номограмма для теплового расчета прудов-охладителей

Обобщенная номограмма для теплового расчета прудов-охладителей, построенная для естественных температур воды от -12 до $+30^\circ$, скорости ветра от 0 до 4 м/сек и перепадов температур от 5 до 15° , приведена на рис. 23.

Пример пользования номограммой. Определить температуру охлажденной воды в пруде для следующих условий:

расход воды — $Q = 50\,000$ м³/час;

перепад температуры — $\Delta t = 8^\circ$;

естественная температура воды — $t_e = 26^\circ$;

скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью воды — $W_{200} = 1$ м/сек;

общая площадь пруда, определенная по плану пруда, — $Q_{пр} = 2,60 \times 10^6$ м²;

площадь транзитного потока, определенная по плану теней, — $Q_{тр} = 1,5 \times 10^6$ м².

По графику (рис. 16) по отношению

$$\frac{Q_{тр}}{Q_{пр}} = \frac{1,51}{2,60} = 0,58$$

находим коэффициент использования площади пруда K :

$$K = 0,785.$$

Площадь активной зоны пруда будет равна:

$$Q_{акт} = 0,785 \times 2,60 \times 10^6 = 2,04 \times 10^6 \text{ м}^2.$$

Удельная площадь активной зоны:

$$\omega_{уд} = \frac{Q_{акт}}{Q} = \frac{2,04 \times 10^6}{50\,000 \times 24} = 1,7 \text{ м}^2/\text{м}^3 \cdot \text{сутки}.$$

По номограмме на рис. 22 по $\omega_{уд} = 1,7$ м²/м³·сутки $t_e = 26,0^\circ$, $W_{200} = 1$ м/сек и $\Delta t = 8^\circ$ находим перепад температуры охлажденной воды в пруде над естественной температурой $\delta = 3,5^\circ$.

Температура охлажденной воды в пруде будет равна:

$$t_2 = t_e + \delta = 29,5^\circ.$$

§ 4. Зараствание и загнивание прудов

Зараствание прудов-охладителей водной растительностью приводит к образованию застойных зон, что ухудшает охлаждающую способность прудов.

Водная растительность, попадая к водозаборным сооружениям, забивает очистные сетки водоприемников и загрязняет теплообменники, требует их частой очистки. Зараствание прудов зависит от их глубины, колебания горизонта воды, грунтов, химического состава воды и температурного режима прудов.

Зарастванию способствует плохая подготовка чаши пруда к затоплению и наличие в пределах пруда кустов, пней и пр.

Борьба с растительностью производится механическим или химическим способами. К первому относятся удаление водной растительности при помощи лебедок с тросами, водных косилок или драг; ко второму — опрыскивание заросших участков химическими реагентами.

Заиление приводит к уменьшению глубин пруда, обмелению и выключению из работы отдельных его участков.

Причинами заиления пруда являются:

- а) отложение наносов, приносимых рекой;
- б) твердый сток с собственной площади водосбора;
- в) размыв берегов;
- г) отмирание водной растительности.

Работы по очистке и углублению пруда производятся с помощью плавучих землесосов (рефулеров).

Сложность и большая стоимость работ по очистке вызывают необходимость предусматривать при проектировании комплекс мероприятий, предупреждающих интенсивное заиление прудов. К ним относятся: берегоукрепительные работы на участках, подверженных размыву; организация стока ливневых вод в пруд путем устройства водоотводных канав; запрещение распашки склонов пруда; сооружение отстойников в местах, где возможен вынос в пруд наносов и т. п.

Б. БРЫЗГАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

1. Общие сведения

Брызгальные устройства представляют собой систему трубопроводов, на которых устанавливаются сопла (брызгала), разбрызгивающие подводимую к ним под напором теплую воду.

Конструкция сопел и величина напора воды определяют поверхность охлаждения водного потока. При повышении напора она увеличивается за счет удлинения траекторий падения капель и уменьшения их диаметра.

Однако повышение напора связано с повышением затрат электроэнергии на циркуляционные насосы и увеличением выноса мелких капель воды ветром за пределы бассейна.

В штилевую погоду нагретый и увлажненный воздух поднимается над брызгальным устройством вверх, на смену ему по периметру бассейна притекает наружный холодный воздух. При наличии ветра эта схема движения воздуха нарушается.

Сложность процесса охлаждения воды в брызгальных устройствах затрудняет разработку теоретических методов их теплового расчета. Поэтому для определения температур охлажденной воды в этих устройствах обычно пользуются эмпирическими зависимостями, полученными на основании опытных данных.

Размеры брызгального устройства определяются расходом воды и плотностью орошения, т. е. количеством воды, охлаждаемой на 1 м² площади бассейна.

Плотность орошения определяется из формулы:

$$q = \frac{q_c n}{ab}, \quad (25)$$

где q_c — производительность одного сопла при принятом напоре;

n — число сопел в пучке;

a — расстояние между пучками сопел (рис. 24);

b — расстояние между трубопроводами.

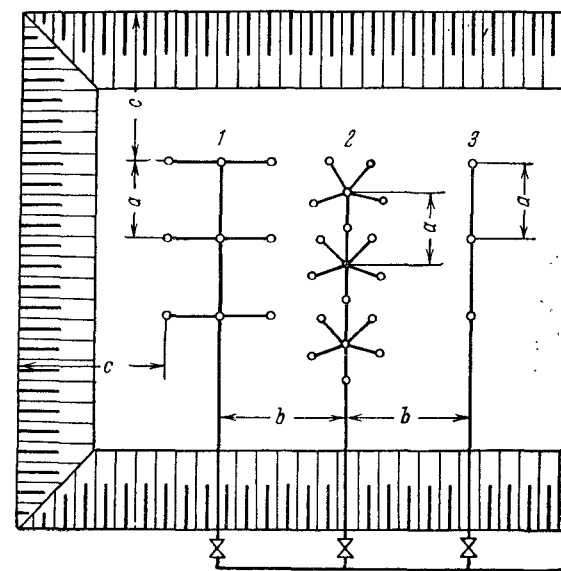


Рис. 24. Схема расположения сопел в бассейне

В зависимости от климатических условий величина плотности орошения принимается в пределах от 0,8 до 1,3 м³/м² час.

Брызгальные сопла могут размещаться или над искусственным бассейном, служащим для сбора охлаждаемой воды, или над естественными водоемами — прудом, руслом реки — в определенном порядке, обеспечивающем достаточные проходы для воздуха между факелами брызг.

§ 2. Разбрызгивающие сопла, их гидравлические характеристики и установка

В настоящее время находят применение различные конструкции сопел, которые по принципу разбрызгивания воды можно разделить на сопла центробежного и шелевого типа.

К соплам центробежного типа, у которых разбрызгивание воды происходит за счет центробежной силы, относятся:

Сопла с винтовыми вкладышами

Сопло МОТЭП (рис. 25, а)	диаметром 50/25 ¹
Юни-спрей (рис. 25, б)	50/25
Спреко 11А (рис. 25, в)	50/20

Сопла без вкладышей

Сопло эвольвентное (рис. 25, г)	диаметром 100/50, 50/25, 19/10
Ремп Боттом (рис. 25, д)	50/29 и 38/22
Марли (рис. 25, е)	50/29
(рис. 25, ж)	50/18
С-6 ЮжОР-ГРЭС (рис. 25, з)	90/34
П-16 щелевого типа (рис. 25, и)	50

Материалом для изготовления сопел обычно служит ковкий чугун. Внутренняя поверхность сопел для уменьшения гидравлического сопротивления тщательно зачищается, а иногда покрывается кузбаслаком.

Наиболее рациональными являются сопла центробежного типа, без вкладышей, требующие меньшего напора и в меньшей степени подверженные засорению.

Данные о производительности сопел при различных напорах приводятся в табл. 7. Габариты факелов разбрызгивания некоторых типов сопел указаны в табл. 8.

Таблица 7

Производительность брызгальных сопел в зависимости от напора

Тип и размеры сопел	Производительность в м ³ /час при величине напора в м					
	5	6	7	8	10	12
Сопло МОТЭП	18,7	20,9	23,7	24,5	26,8	29,2
Юни-спрей	17,1	19	20,6	22,3	24,8	26,8
Спреко 11А	9	10	10,8	11,6	12,9	13,9
эвольвентное диаметром 100/50	32	34,5	37	39,2	43,5	47,5
" " 50/25	8,2	9,1	9,9	10,7	11,9	12,8
" " 19/10	1,13	1,27	1,41	1,56	1,78	—
Ремп Боттом	50/29	11,5	12,6	13,7	14,4	15,8
" " 38/22	6,1	6,5	7,2	7,6	8,3	9
Марли	50/29	10,6	11,5	12,4	13,2	14,4
" " 50/18	4	4,3	—	—	—	15,2
С-6 ЮжОР-ГРЭС	90/34	44	48	52	56	62
Сопло П-16 щелевого типа диаметром	50	44,8	46	50,4	54	61,2
					68	

Примечание. Величина напора для сопел П-16 и эвольвентных диаметром 100/50 отнесена к распределительным трубам, для остальных сопел — ко входу в сопло.

¹ В числителе указан диаметр подводящего трубопровода, в знаменателе диаметр выходного отверстия сопла в мм.

Таблица 8

Габариты факелов сопел (на уровне воды в бассейне)

Тип сопел	Напор воды в м вод. ст.				
	4	5	8	10	12
Сопло МОТЭП и Юни-спрей					
радиус в м	2,7	3,5	4,2	—	—
высота	3,7	4,8	5,7	—	—
Сопло эвольвентное					
радиус в м	3,8	4,8	5,7	6,4	7,2
высота	5,3	6,4	7,2	7,9	8,4
Сопло П-16 щелевого типа					
радиус в м	4,2	5,5	6,2	6,6	6,9
высота	4,3	5,5	6,2	6,6	6,9

Данные о развернутой поверхности капель факела брызг для некоторых сопел, полученные в результате исследований, приведены в табл. 9.

Таблица 9

Развернутая поверхность капель факела для некоторых типов сопел

Типы и размеры сопел	Поверхность капель в м ² при напоре в м вод. ст.					Примечание
	3	5	6	7	8	
Сопло МОТЭП	14,75	31,20	41,25	—	—	Исследования ВНИИГ То же
	1,02	1,66	1,96	—	—	
Сопло Юни-спрей	12,70	26,80	35,20	—	—	Исследования ЛОТЭП
	1,01	1,56	1,85	—	—	
То же	—	—	33	38	44	Исследования ВНИИГ
	—	—	1,74	1,81	1,92	
Сопло Спреко 11А	5	10	13,53	—	—	Исследования ЛОТЭП
	0,75	1,1	1,35	—	—	
Сопло П-16 щелевого типа	—	—	80	94	108	Исследования ЛОТЭП
	—	—	1,73	1,88	2	

Примечание. Поверхность капель указана в м² в виде дроби: в числителе указана полная поверхность, в знаменателе — удельная поверхность на 1 м³ расхода в час.

Сопла располагаются на высоте 2—2,5 м над нормальным горизонтом воды. Схемы расположения сопел приведены на рис. 24.

Для уменьшения уноса воды ветром из бассейнов крайние сопла устанавливаются на некотором расстоянии с от края бассейна, называемом защитной зоной. Величина защитной зоны

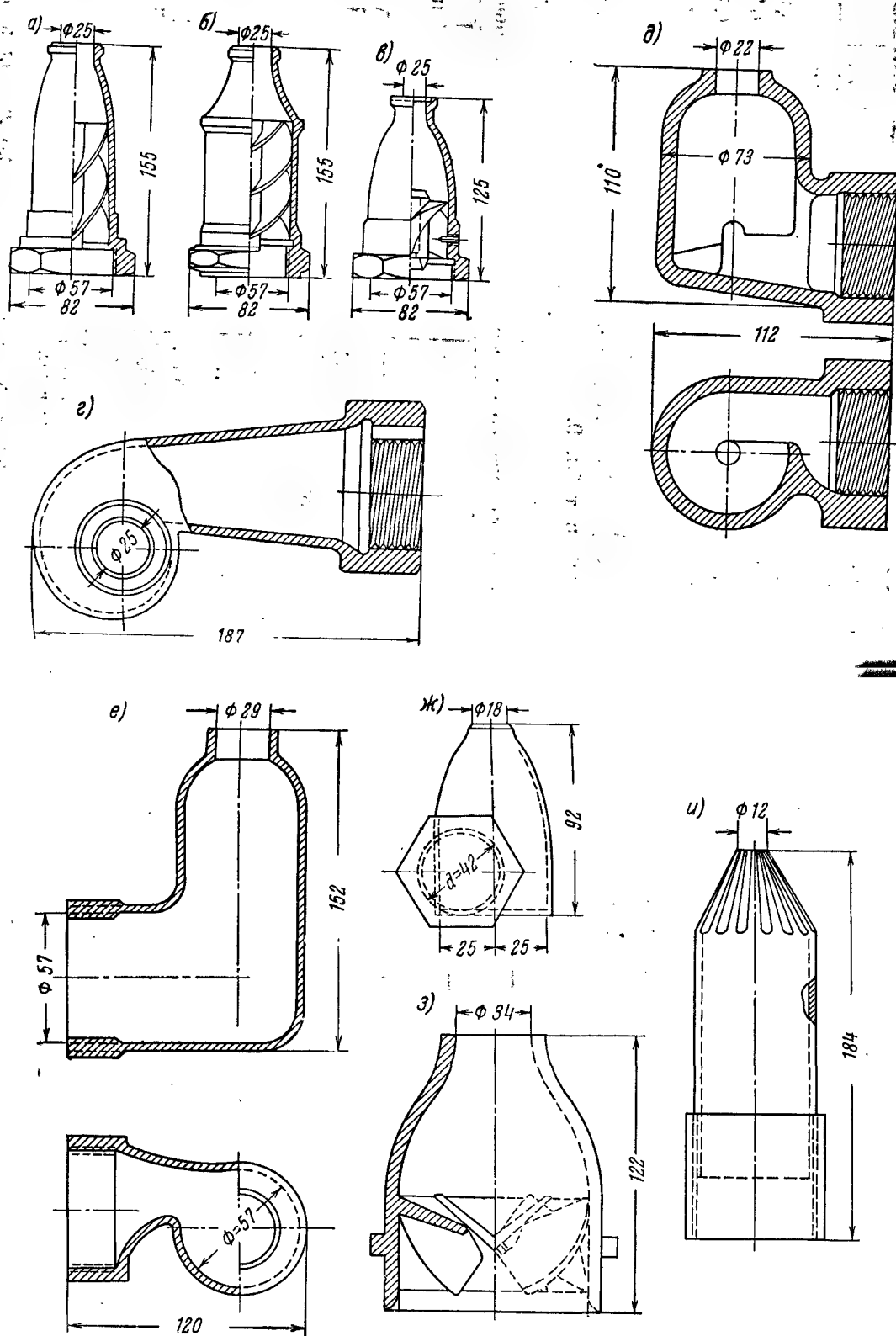


Рис. 25. Типы разбрызгивающих сопел

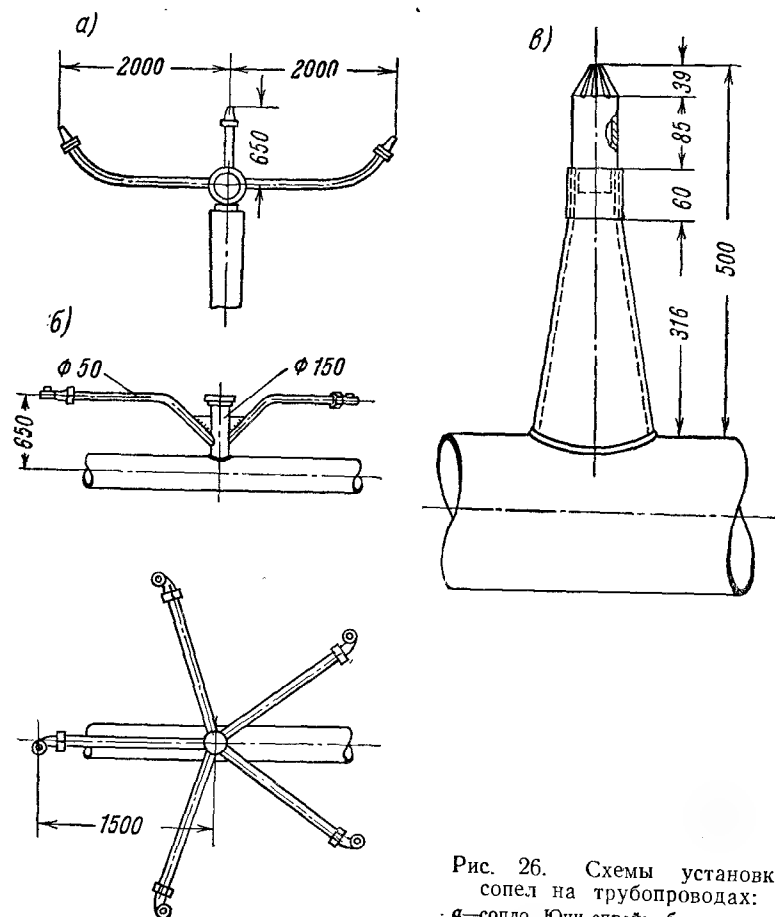


Рис. 26. Схемы установки сопел на трубопроводах:
а—сопло Юни-спрей; б—эвольвентное, в П-6 щелевого типа

в зависимости от принятого напора у сопел и скорости ветра в районе расположения брызгального устройства принимается в пределах от 6 до 8 м. Установка сопел на трубопроводах приведена на рис. 26.

В конце каждого трубопровода устанавливаются сопла, служащие для промывки, а также опорожнения труб при отключении (рис. 27).

Данные о компоновке эвольвентных сопел диаметром 50/25 в бассейне приведены в табл. 10.

Пример компоновки бассейна с эвольвентными соплами диаметром 50/25 приведен на рис. 28.

§ 3. Конструкции и детали

Трубопроводы брызгальных устройств изготавливаются обычно из стали, но могут выполняться из железобетона или асбестоцемента. Их гидравлический расчет производится из условия, чтобы разность напоров между наиболее удаленными соплами не превышала 0,5 м вод. ст.

Трубопроводы могут прокладываться над или под горизонтом воды. В последнем случае упрощается конструкция опор, устраняется обмерзание труб и опор в зимний период. Однако ремонт трубопроводов и надзор за ними при подводной их прокладке усложняется.

Прокладка труб над горизонтом воды осуществляется на катковых опорах, устанавливаемых на опорных колонках из железобетона или бутовой кладки.

При подводном расположении трубопроводы могут укладываться без катков, на невысоких опорах.

При расположении брызгальных устройств над водоемами трубопроводы прокладываются на сваях, а при больших глубинах — на поплавках.

Таблица 1

Расположение брызгальных сопел

Наименование и размеры сопел	Рекомендуемый напор перед соплом в м	Число сопел в пучке в шт	Расположение сопел в пучке	Расстояние между соплами в м	Расстояние между пучками сопел в м	Расстояние между трубами в м	Плотность дождя в $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$
Сопла МОТЭП и Юни-спрей	5	3	Линейное	1,2—1,5	3,3	12	1,22 (1,30)
Сопла Спреко 11А	5	5	Звездообразное	1,2—1,5	5,0	8	1,12
Сопла эвольвентные диаметром 50/25	5	5	То же	1,2—1,5	4,0	10—8	1,03—1,28
То же, диаметром 100/50	8	1	Одиночное	—	4,0	8,5	1,15
Сопло П-16 щелевого типа	8	1	То же	—	4,5	10—9	1,20—1,33

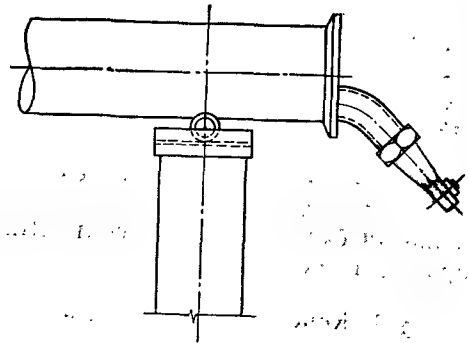


Рис. 27. Установка промывных сопел

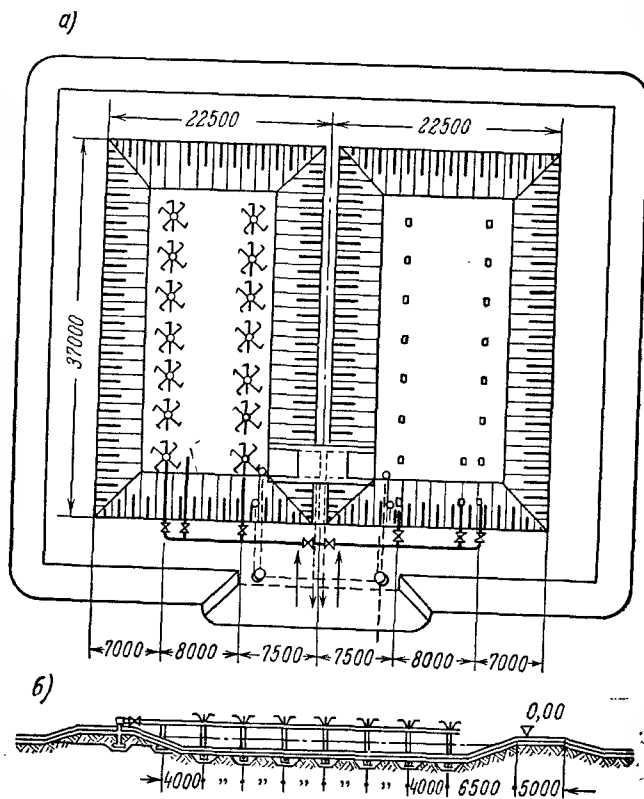


Рис. 28. Брызгальный бассейн с эвольвентными соплами:
а—план; б—разрез

Для снижения напора у сопел, а также утепления бассейна в зимний период в системах трубопроводов устраиваются выпуски теплой воды в бассейн с установкой задвижек.

Бассейны, их одежда и оборудование

Бассейны брызгальных устройств служат для сбора охлажденной воды и создания необходимого запаса воды.

Глубина воды в бассейне обычно принимается 1,2—1,5 м. Расстояние от нормального горизонта воды до бровки откосов принимается 0,25—0,30 м.

Ширина бассейнов в осях крайних сопел не должна превышать 45 м. Днище бассейна устраивается с уклоном в сторону прямка канализации.

Площадка вокруг бассейна асфальтируется с уклоном в сторону бассейна.

Бассейны большой производительности проектируются из нескольких секций. При необходимости ремонта или очистки отдельные секции отключаются.

Тип одежды бассейна выбирается в зависимости от грунтовых условий.

Простейшие типы одежды в виде бетонных армированных плит толщиной 100 мм или слоя асфальтобетона толщиной 30—40 мм по песчано-гравелистой подготовке толщиной 100 мм применяются при маловодопроницаемых грунтах.

При сильноводопроницаемых грунтах применяются более сложные типы одежды в виде бетонной подготовки толщиной 100—120 мм, по которой укладывается гидроизоляционный слой асфальтовой мастики толщиной 20—30 мм или слой оклеечной гидроизоляции (гидроизол, борулин, битумный мат), наклеиваемый на основание с помощью клеемассы. Гидроизоляция защищается сверху бетонными или железобетонными плитами толщиной 30—40 мм.

При грунтах просадочного характера фильтрация в основание бассейна может привести к просадкам грунта и разрушению бассейна. Поэтому, кроме усиленной гидроизоляции бассейна, в его основание иногда укладывается слой дренажа по железобетонному поддону с устройством выпусков воды в колодцы для контроля над фильтрацией воды.

Бассейны оборудуются трубопроводами для перелива излишков воды и опорожнения в сеть канализации.

Для забора воды устраиваются водоприемные колодцы, оборудованные очистными сетками.

§ 4. Номограмма для теплового расчета

Для определения температур охлажденной воды в брызгальных устройствах может служить номограмма, приведенная на рис. 29, построенная Н. Н. Терентьевым. Она позволяет опреде-

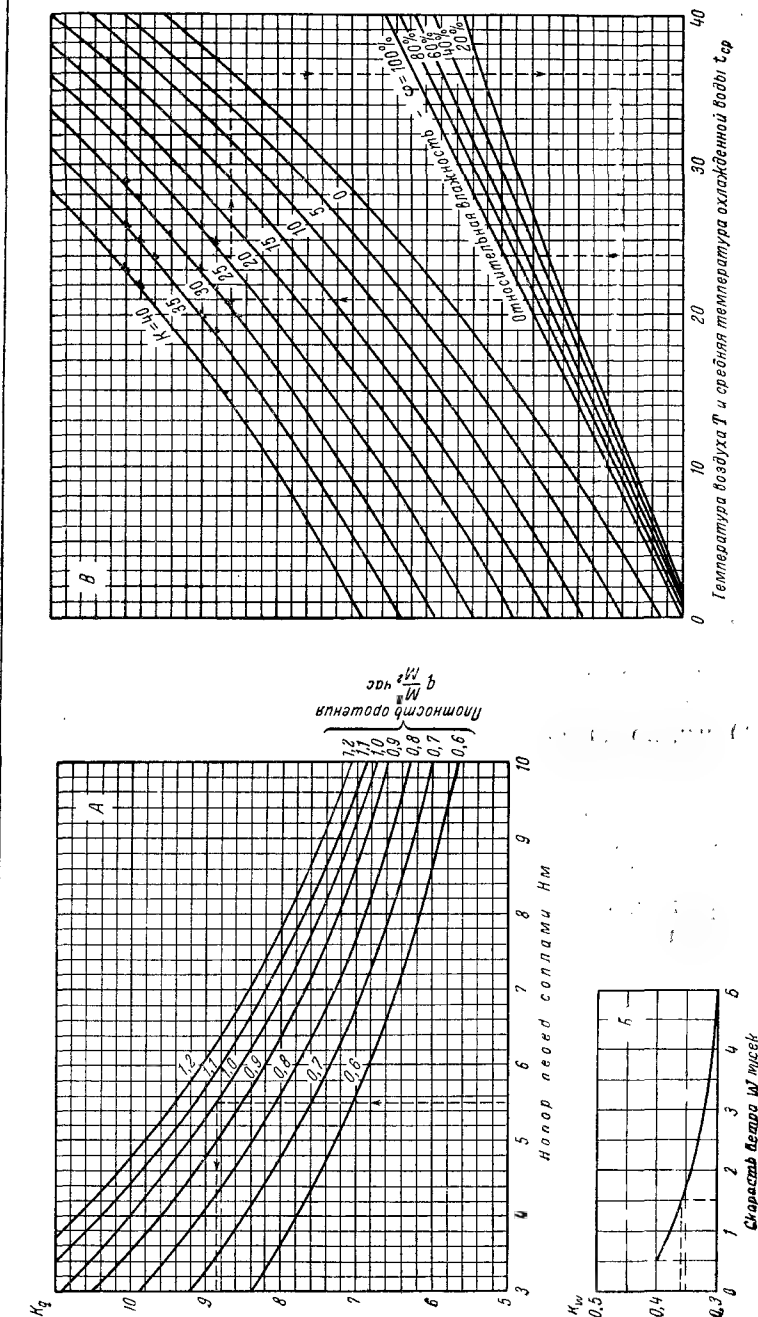


Рис. 29. Номограмма для теплового расчета брызгальных бассейнов

литель температуру охлажденной воды в зависимости от величины напора у сопел H , плотности орошения q , перепада температур Δt и метеорологических условий, т. е. температуры T , относительной влажности воздуха φ и скорости ветра W .

Номограмма состоит из трех графиков. По графику A находят значение вспомогательного коэффициента K_q . По графику B определяется вспомогательный коэффициент K_w . Затем определяется значение K , равное

$$K = K_q K_w \Delta t. \quad (26)$$

По найденному значению K по графику B находят среднюю температуру воды t_{cp} . Температура охлажденной в брызгальном бассейне воды t_2 будет равна:

$$t_2 = t_{cp} - 0,5 \Delta t. \quad (27)$$

Пример. Определить температуру охлажденной в брызгальном бассейне воды для следующих условий:

напор у сопел — $H=5,5$ м; плотность орошения — $q=1$ м³/м² час; перепад температуры — $\Delta t=8,8^\circ$; скорость ветра — $W=1,5$ м/сек; температура воздуха — $T=24^\circ$; относительная влажность воздуха — $\varphi=60\%$.

По графику A для $H=5,5$ м и $q=1$ м³/м² час находим $K_q=8,86$.

По графику B для $W=1,5$ м/сек находим $K_w=0,36$. Определяем величину

$$K = K_q K_w \Delta t = 8,86 \times 0,36 \times 8,8 = 28,1.$$

По графику B для $T=24^\circ$, $\varphi=60\%$ и $K=28,1$ находим $t_{cp}=36^\circ$ и $t_2=36^\circ - 0,5 \times 8,8=31,6^\circ$.

В. ГРАДИРНИ

§ 1. Классификация градирен

Основным признаком для классификации градирен является принцип движения воздуха в оросителе, исходя из которого градирни могут быть разделены на следующие три основные типа:

- 1) открытые градирни, поступление воздуха в которые происходит путем продувки их ветром;
- 2) башенные градирни, имеющие естественную тягу воздуха, возникающую за счет разности весов наружного воздуха и нагретого влажного воздуха внутри градирни;
- 3) вентиляторные градирни с искусственной тягой воздуха, создаваемой вентиляторами.

Охлаждение воды в градирнях происходит с ее поверхности. путем отдачи тепла воздуху, проходящему через ороситель.

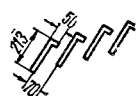
Создание поверхности охлаждения в градирнях осуществляется за счет разбрызгивания воды соплами (брызгальные градирни) или с помощью оросительных устройств.

Таблица 11
Коэффициенты сопротивления оросительных устройств и водоуловителей градирен при противоточном движении воздуха

Наименование конструкций	Эскиз	Коэффициент сопротивления при плотности орошения (q)			
		$q = 0$ (без воды)	$q = 2$	$q = 4$	$q = 6$
Трехгранные рейки $50 \times 50 \times 70$, ребром вниз, в шахматном порядке		На 1 ряд			
		1,65	1,84	2	2,15
Трехгранные рейки $50 \times 50 \times 70$, ребром вверх, в шахматном порядке		На 1 ряд			
		2,45	2,65	2,91	3,06
Трехгранные рейки $50 \times 50 \times 70$, ребром вниз, в ступенчатом порядке		На 1 ряд			
		0,67	0,85	0,96	1,09
Доски 8×80 под углом 60° с шагом 120 мм		На 1 ряд			
		0,80	1,02	1,16	1,28
Доски 8×80 под углом 60° с шагом 80 мм		На 1 ряд			
		1,64	1,77	1,88	2
Доски 8×80 под углом 60° с шагом 60 мм		На 1 ряд			
		1,37	—	—	—
Деревянные щиты из досок 8×100 под углом 85° с разрывом 215 мм (щиты ПК-85-215)		На 1 м высоты оросителя			
		1,60	2,34	3,08	3,80

Продолжение табл. 11

Наименование конструкций	Эскиз	Коэффициент сопротивления при плотности орошения (q)			
		$q = 0$ (без воды)	$q = 2$	$q = 4$	$q = 6$
Деревянные щиты из досок 8×100 под углом 85° с разрывом 40 мм (щиты ПШ-85-40)		На 1 м высоты			
		1,12	1,48	1,80	2,13
Те же щиты, но при установке под углом 75°		На 1 м высоты			
		3,86	—	—	—
Те же щиты, но при установке под углом 90°		На 1 м высоты			
		0,50	—	—	—
Сплошные асбестоцементные щиты $\delta = 6-7$ мм, установленные под углом 90° через $b = 15$ мм в 1 ярус (щиты ППШ-15)		На 1 м высоты			
		1,90	2,37	2,81	3,26
Сплошные асбестоцементные щиты $\delta = 6-7$ мм, установленные под углом 90° через $b = 25$ мм в 1 ярус (щиты ППШ-25)		На 1 м высоты			
		0,60	0,81	1,03	1,24
Сплошные асбестоцементные щиты $\delta = 6-7$ мм, установленные под углом 90° через $b = 35$ мм в 1 ярус (щиты ППШ-35)		На 1 м высоты			
		0,55	0,65	0,75	0,85
Асбестоцементные щиты ППШ-15, $\delta = 6-7$ мм, установленные под углом 90° через $b = 15$ мм в 2 яруса		На 1 м высоты			
		3,00	3,42	3,84	4,26
Асбестоцементные щиты ППШ-25, $\delta = 6-7$ мм, установленные под углом 90° через $b = 25$ мм в 2 яруса		На 1 м высоты			
		1,68	2,06	2,44	2,82
Асбестоцементные щиты ППШ-35, $\delta = 6-7$ мм, установленные под углом 90° через $b = 35$ мм в 2 яруса		На 1 м высоты			
		0,76	1,07	1,38	1,69

Наименование конструкций	Эскиз	Коэффициент сопротивления при плотности орошения (q)			
		$q = 0$ (без воды)	$q = 2$	$q = 4$	$q = 6$
Водоуловители из досок 13 мм, установленных под углом 45°					0,15

Коэффициент общего сопротивления градири зависит от размеров градири, т. е. ее площади, конструктивных особенностей и гидравлической нагрузки (плотности орошения).

Поэтому дать общие зависимости для определения коэффициента общего сопротивления не представляется возможным. Коэффициент должен определяться для каждой конструкции градири экспериментальным путем.

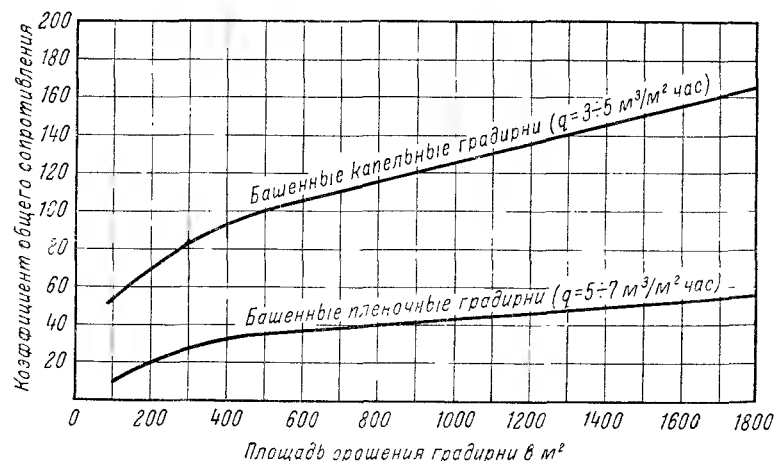


Рис. 31. Коэффициенты общего сопротивления башенных градири

Для приближенной оценки на рис. 31 приведен график зависимости коэффициента общего сопротивления башенных капельных и пленочных градири от их площади орошения. Данные по коэффициентам общего сопротивления секционных вентиляторных градири, полученных в результате лабораторного моделирования, приведены в табл. 12.

Коэффициенты сопротивления секционных вентиляторных градири

Тип оросителя	Площадь орошения секции в м²	Диаметр вентилятора в м	Коэффициент сопротивления
Капельный ороситель	70	4,7	100—110
Пленочный	70	4,7	35—40
„	200	7	60—70

§ 3. Гидравлика оросительных устройств

Гидравлика оросительных устройств включает вопросы, связанные с распределением охлаждаемой воды в оросительных устройствах и созданием необходимой поверхности охлаждения.

Схема распределения воды по оросителю должна предусматривать отключение половины и отдельных его участков и

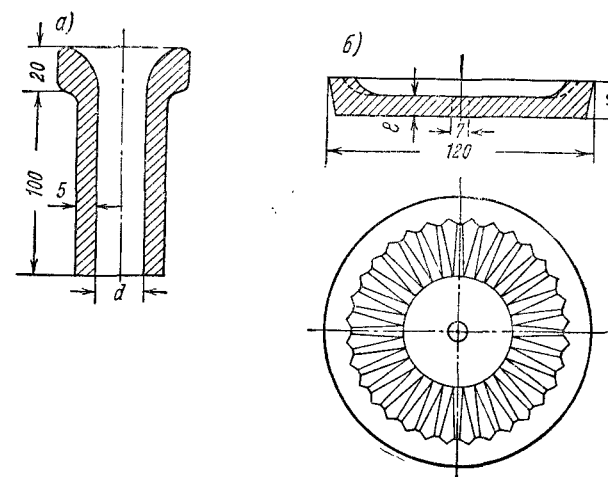


Рис. 32. Разбрызгивающее устройство:
а—гидравлический насадок; б—разбрызгивающая тарелочка

в случае колебаний гидравлической нагрузки частичное или полное отключение центральной части оросителя для поддержания достаточной плотности орошения на периферийной части на входе холодного воздуха, что имеет особенно важное значение в зимний период в целях предотвращения обмерзания оросительного устройства.

Распределение воды в оросителе градири осуществляется водораспределительными устройствами, состоящими из открытых лотков с разбрызгивателями в виде гидравлических насад-

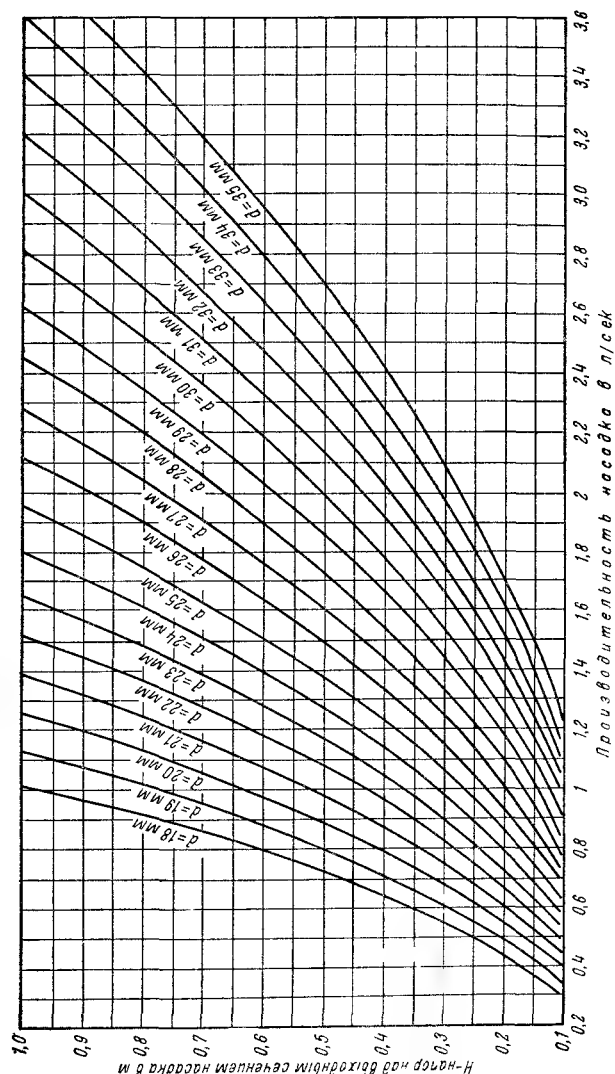


Рис. 33. Гидравлические характеристики насадков

ков и тарелочек, изготавливаемых из фарфора или пластмассы (рис. 32), или напорных труб с соплами.

Более распространено водораспределение воды лотками, требующее меньшего напора.

Диаметр гидравлических насадков определяется по формуле:

$$d = 0,0565 \sqrt{\frac{q}{\sqrt{H}}}, \quad (30)$$

где d — диаметр гидравлических насадков в м;
 q — расход воды, приходящийся на 1 насадок, в л/сек;
 H — напор над выходным сечением насадка в см.

График пропускной способности гидравлических насадков в зависимости от глубины воды в лотках приведен на рис. 33.

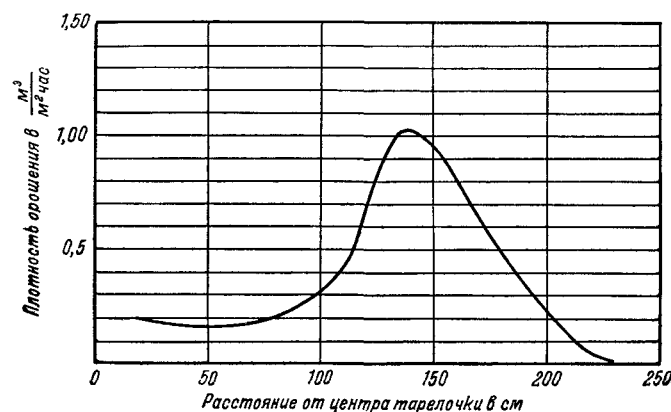


Рис. 34. Распределение плотности орошения по радиусу разбрызгивания

Разбрызгивающие тарелочки устанавливаются на расстоянии 0,7—0,8 м от дна рабочих лотков.

Расстояния между тарелочками принимаются с учетом перекрытия факелов брызг соседних тарелочек с целью равномерного распределения воды по оросителю.

Распределение плотности орошения по радиусу факела при расположении тарелочки на 0,8 м от дна лотка и при средней плотности орошения в градине $6,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$ видно из рис. 34.

Обычно при равномерном распределении воздуха в оросителе тарелочки располагаются по квадратной сетке в плане с расстоянием между ними в осях 1,0—1,25 м.

В случае неравномерного распределения воздуха иногда применяют дифференцированное распределение воды с уменьшением плотности орошения в зонах оросителя, плохо снабжаемых воздухом, например в центральной части оросителя. В этих зонах расстояния между тарелочками увеличиваются.

В оросительных устройствах вода находится как в виде капли, так и в виде пленки, обволакивающей элементы оросителя.

Оценка значения поверхности охлаждения в процессе теплоотдачи должна производиться с учетом коэффициентов теплоотдачи, зависящих от состояния водного потока. Так, например, коэффициенты теплоотдачи с поверхности капель зависят от диаметра капель. Коэффициенты теплоотдачи с поверхности пленки меньше, чем с поверхности капель.

На величину поверхности охлаждения пленочного оросителя влияет также смачиваемость щитов. Хорошее смачивание имеют щиты оросителя из нестроганных досок. Щиты, изготовленные из

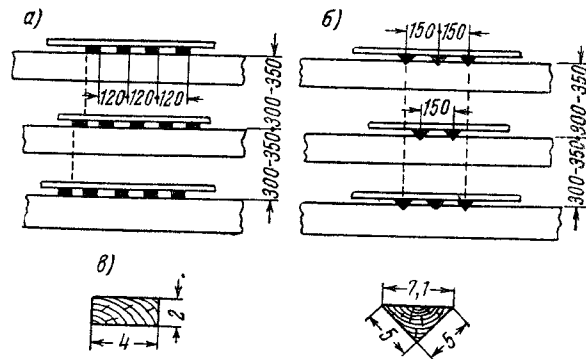


Рис. 35. Капельный ороситель:
а — с прямоугольными рейками; б — с треугольными рейками; в — детали реек

некоторых видов пластических материалов, обладающих гидрофобными свойствами, смачиваются неполностью. Вода стекает с них отдельными струями, что уменьшает поверхность охлаждения и приводит к ухудшению охлаждения.

Конструкции основных типов оросительных устройств и их гидравлические характеристики приводятся ниже.

Капельный ороситель состоит из реек прямоугольного или треугольного сечения, располагаемых в определенном порядке, обеспечивающем их смачивание охлаждаемой водой и возможно меньшее аэродинамическое сопротивление проходящему воздуху. Наиболее употребительные конструкции капельного оросителя приведены на рис. 35.

Ороситель из реек прямоугольного сечения применяется при поперечном движении воздуха. При противоточном — рациональнее использовать рейки треугольного сечения, укладываемые ребром вниз.

Стекание воды с одной рейки на другую при плотностях орошения до $5 \text{ м}^3/\text{час}$ носит четко выраженный капельный характер. Диаметр капель, стекаемых с реек, — около 5—6 мм.

При падении капель с верхних реек на нижние образуется факел разбрызгивания, состоящий из более мелких, вторичных капель диаметром 0,5—0,8 мм.

Данные о распределении поверхности охлаждения в 1 м^3 капельного оросителя из треугольных реек, направленных острием вниз, при расположении их в шахматном порядке с расстоянием между рейками в ряду 150 мм и между рядами реек 300 мм при плотности орошения $3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$ приведены в табл. 13. Там же приводится сравнение удельной поверхности охлаждения с каплей и пленки, произведенное по эквивалентной поверхности охлаждения, т. е. с учетом коэффициентов теплоотдачи.

Таблица 13

Распределение поверхности охлаждения в капельном оросителе

Поверхность охлаждения	Коэффициент теплопередачи в $\frac{\text{кал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	Удельная поверхность			
		абсолютная		эквивалентная	
		в м^2	в %	в м^2	в %
Пленка на рейках . . .	8	3,80	79,67	3,80	23,6
Первичные капли . . .	52	0,34	7,13	2,20	13,7
Вторичные . . .	128	0,63	13,20	10,10	62,7
Итого	—	4,77	100	16,1	100

Таблица 14

Распределение поверхности охлаждения в пленочном оросителе

Поверхность охлаждения	Коэффициент теплопередачи в $\frac{\text{кал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	Удельная поверхность			
		абсолютная		эквивалентная	
		в м^2	в %	в м^2	в %
Пленка на щитах . . .	10	27	95,07	27	72,40
Капли в разрыве между досками . . .	59	1,16	4,08	6,84	18,33
Капли в факеле разбрызгивания при перетекании струи на нижний ряд щитов .	144	0,24	0,85	3,46	9,27
Итого	—	28,40	100	37,30	100
Проскок капель между щитами	77	0,07	—	0,54	—

Как видно из табл. 13, для рассматриваемого оросителя наибольшая поверхность охлаждения приходится на долю пленки на рейках, однако основная часть тепла отдается мелкими каплями «вторичного» разбрызгивания.

Пленочный и капельно-пленочный оросители. В пленочном оросителе поверхность охлаждения создается щитами, по которым вода стекает в виде пленки.

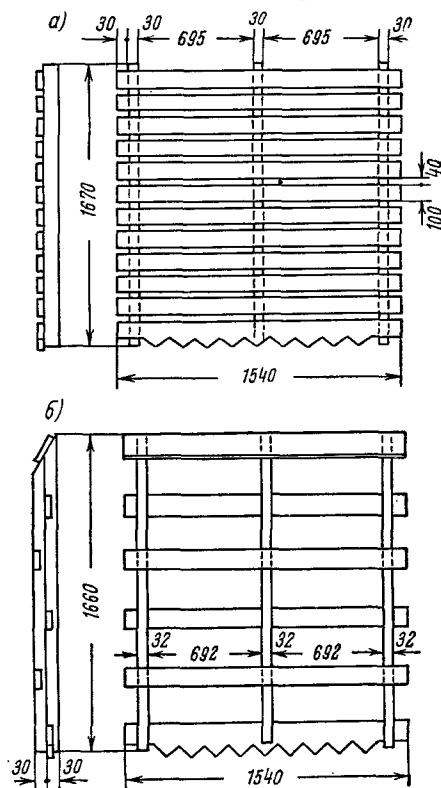


Рис. 36. Деревянные щиты оросителя:
а — пленочного типа; б — капельно-пленочного типа

ного оросителя из деревянных щитов с разрывом между досками 40 мм, установленных под углом 85°, указана в табл. 14. Эти данные отнесены к плотности орошения 6 м³/м² час.

Из таблицы следует, что основная часть тепла в оросителе отдается с поверхности пленки на щитах оросителя. Влияние проскока воды между щитами относительно невелико.

Капельно-пленочный ороситель может осуществляться или в виде комбинации из решетника и щитов пленочного типа, или

Толщина пленки зависит от гидравлической нагрузки на щит и равна 0,3–0,5 мм.

Для выравнивания расхода воды по длине щитов последние обычно выполняются с разрывом между досками. При вертикальной установке щитов в несколько ярусов по высоте и смещении щитов верхнего яруса часть стекающей с них воды может проскакивать между досками нижнего щита в водосборный бассейн. Поэтому щиты часто устанавливаются с небольшим наклоном к вертикали.

Для уменьшения сопротивления проходу воздуха под оросителем нижние доски щитов снабжаются треугольными вырезами (фестонами), сосредоточивающими стекающие со щитов капли воды в отдельные струи.

Конструкции щитов пленочного и капельно-пленочного оросителя приведены на рис. 36. Характеристика распределения поверхности охлаждения в 1 м³ пленоч-

в виде щитов с увеличенными разрывами между досками. При этом при перетекании воды с доски на доску образуются факелы разбрызгивания, повышающие теплоотдачу. Оросительные устройства капельно-пленочного типа требуют меньшего расхода материалов и по этой причине в последнее время получают все большее распространение.

§ 4. Коэффициенты теплоотдачи в оросительных устройствах

Приводимые ниже значения коэффициентов теплоотдачи в оросительных устройствах градиен получены инженером В. Е. Андриановым на основании исследований, проведенных на опытной установке.

Определить поверхность охлаждения водного потока в оросительных устройствах градиен довольно сложно. Поэтому полученные в результате лабораторных исследований коэффициенты теплоотдачи условно отнесены к 1 м³ объема оросителя, что упрощает производство расчетов.

Аналогия между тепло- и массообменом позволяет использовать в тепловых расчетах только один опытный коэффициент — коэффициент теплоотдачи испарением A .

Ниже приводятся объемные коэффициенты теплоотдачи испарением для некоторых наиболее употребительных конструкций оросительных устройств, а именно:

а) оросительного устройства из деревянных щитов ПЩ-85-40 из досок 8×100 мм с разрывами между ними в 40 мм, установленных под углом 85° к вертикали при расстоянии между щитами 50 мм (рис. 37);

б) оросительного устройства из деревянных щитов ПК-85-215 из досок 8×100 мм с разрывами в 215 мм, установленных под углом к вертикали 85° (рис. 38);

в) оросительного устройства из сплошных асбоцементных щитов толщиной 6–8 мм, установленных вертикально в один ярус по высоте при различных расстояниях между щитами (рис. 39);

г) оросительного устройства из сплошных асбоцементных щитов толщиной 6–8 мм, установленных вертикально в два яруса по высоте (рис. 40).

При установке щитов вертикально в два яруса из-за худшего смачивания щитов нижнего яруса и проскока капель между ними объемный коэффициент теплоотдачи меньше, чем при установке щитов в один ярус.

Графики для сплошных щитов построены при расстоянии между щитами в свету 25 мм и высоте щитов 2,2 м. При иной высоте щитов и иных расстояниях между ними вводятся поправочные коэффициенты, определяемые по вспомогательным графикам.

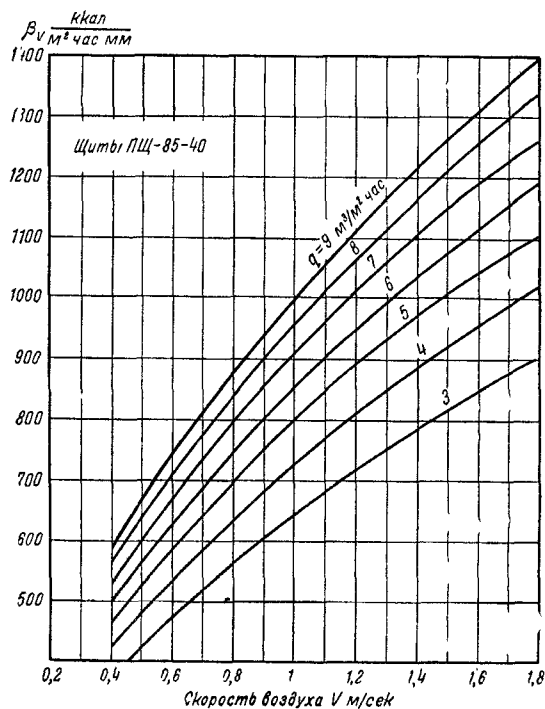


Рис. 37. График коэффициентов теплоотдачи испарением для оросителя со щитами ПЩ-85-40

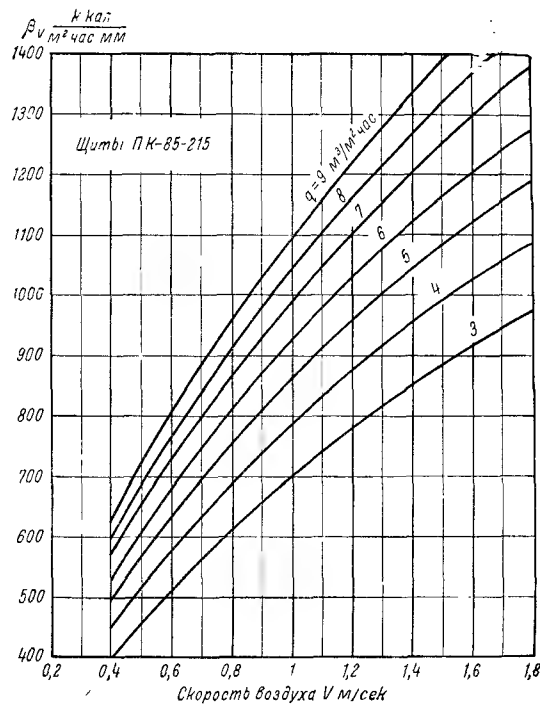


Рис. 38. График коэффициента теплоотдачи испарением для оросителя со щитами ПК-85-215

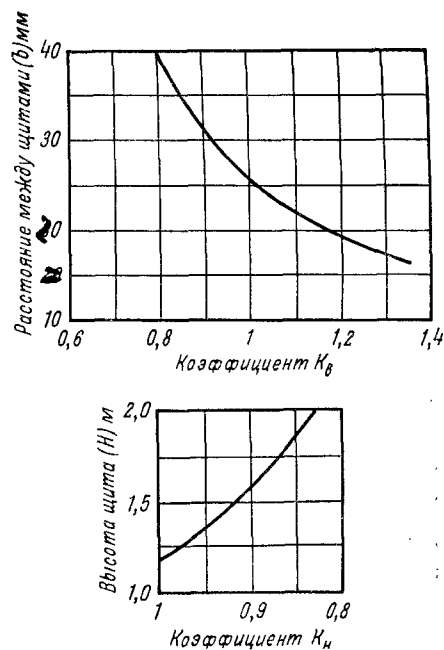
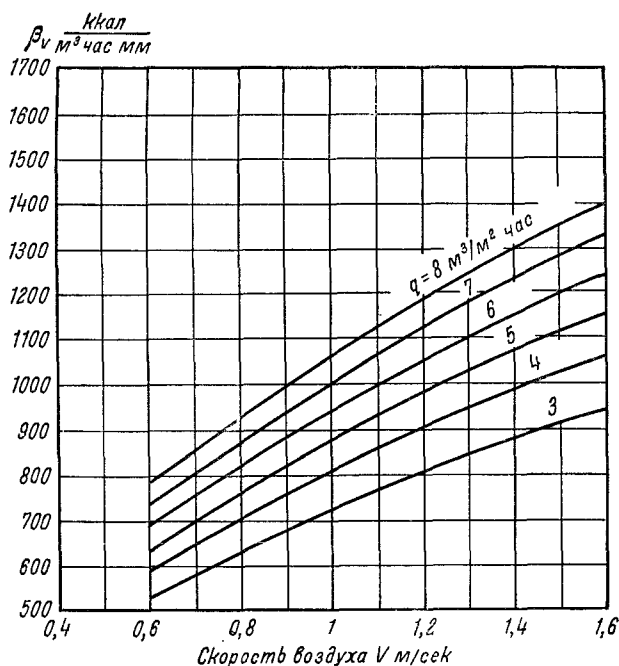


Рис. 39. График коэффициента теплоотдачи испарением для оросителя со сплошными асбестоцементными щитами при их расположении в один ярус

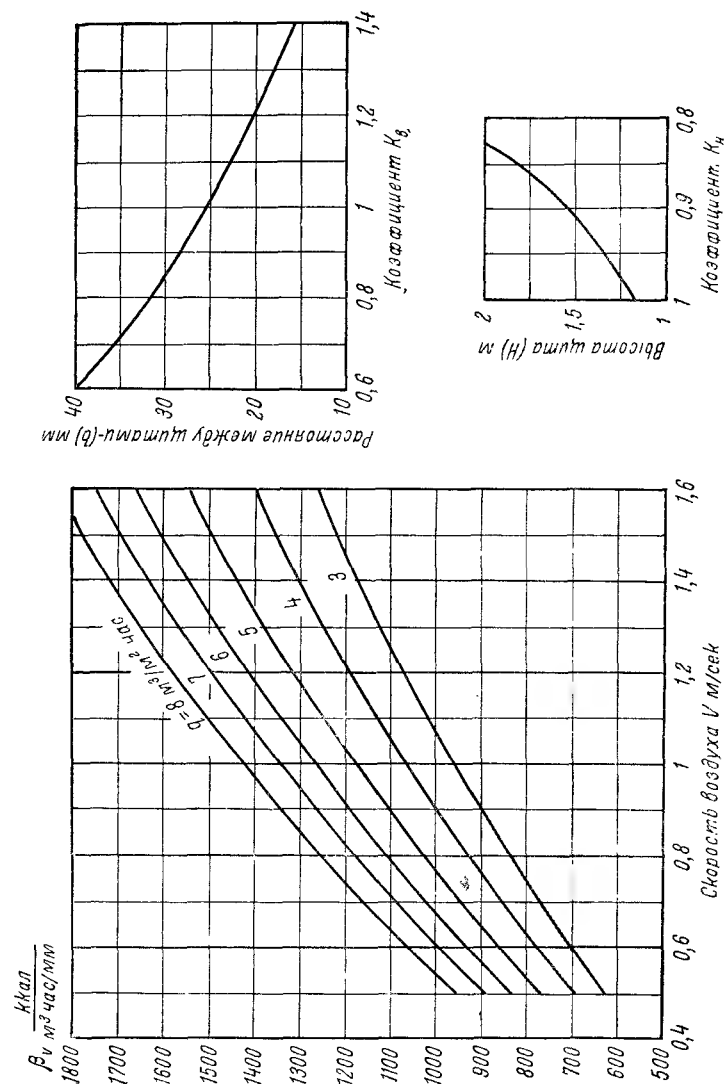


Рис. 40. График коэффициента теплоотдачи испарением для оросителя со сплошными асбестоцементными щитами при их расположении в два яруса

Приведенные на графиках значения объемных коэффициентов теплоотдачи получены при сравнительно равномерном распределении расхода воды и скорости воздуха в сечении оросителя.

В действительности может иметь место значительная неравномерность распределения воздуха и воды по площади орошения градирен.

Поэтому при тепловых расчетах градирен необходимо или учитывать по данным лабораторных исследований характер распределения воды и скорости воздуха в оросителе путем разбивки его на отдельные характерные зоны с проведением теплового расчета для каждой зоны отдельно или вводить поправки к коэффициентам теплоотдачи, учитывающие обычную неравномерность водо- и воздухораспределения в действующих градириях, зависящую от площади орошения градирен.

Сравнение результатов расчетов с данными наблюдений на действующих градириях показало, что расчетные значения объемных коэффициентов теплоотдачи могут приниматься от 0,85 (для градирен большой производительности) до 1 (для небольших градирен).

§ 5. Теоретический метод теплового расчета градирен

Теоретический метод теплового расчета градирен был предложен в 1935 г. Б. В. Проскуряковым для градирен с противоточным движением воздуха и развит в дальнейшем Д. Н. Бибиковым для градирен с поперечным движением воздуха.¹

При тепловом расчете градирен по этому методу оросительное устройство разбивается на участки: при противоточном движении воздуха разбивка производится горизонтальными сечениями на участки равной высоты (рис. 41, а); при поперечном движении воздуха — горизонтальными и вертикальными сечениями на участки равной высоты и равной длины (рис. 41, б).

Определение состояния воздуха и температуры воды в отдельных сечениях оросителя производится по следующим уравнениям:

а) изменение температуры воздуха $\left(\frac{dT}{dx}\right)$:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{0,46\beta_v}{c_p \gamma_{cp} v_{cp}} (t - T) = \frac{1,44\beta_v}{\gamma_{cp} v_{cp}} (t - T); \quad (31)$$

б) изменение абсолютной влажности воздуха $\left(\frac{de}{dx}\right)$:

$$\frac{de}{dx} = \frac{\beta_v}{v_{cp} \rho \cdot 10^{-3}} (e_m - e) = \frac{\beta_v}{0,585 v_{cp}} (e_m - e); \quad (32)$$

¹ Б. В. Проскуряков, Теория термического режима пленочной градири, Известия НИИГ, т. 16, 1935.

Д. Н. Бибиков, О тепловом расчете пленочных градирен с поперечным током воздуха, Известия НИИГ, т. 23, 1938.

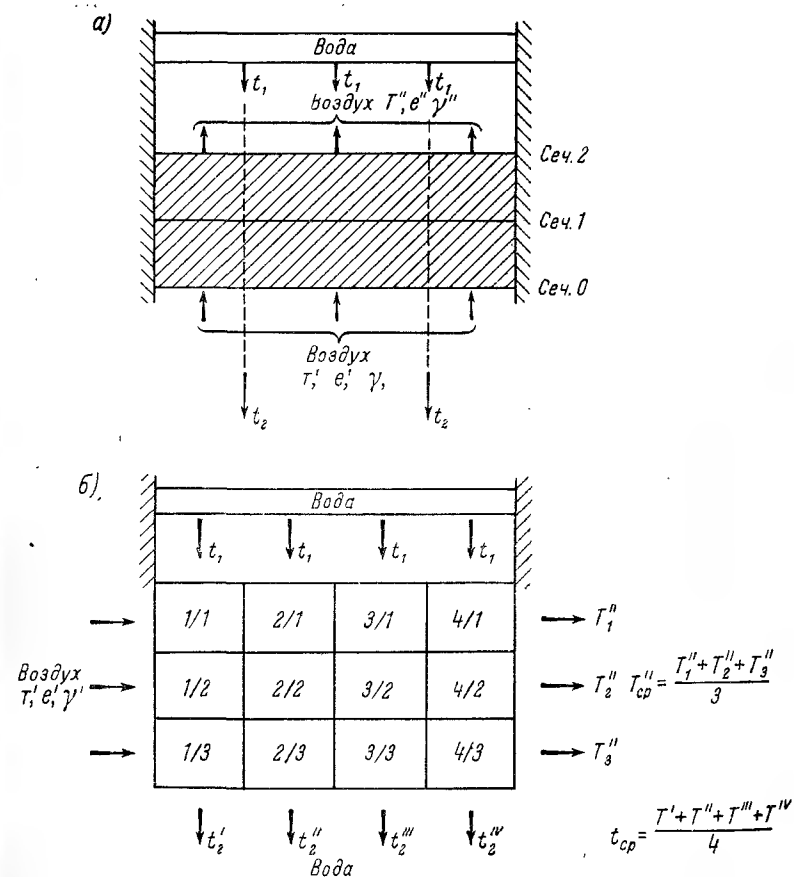


Рис. 41. Схема теплового расчета градирни:

а—при противоточном движении воздуха;
б—при поперечном движении воздуха

в) изменение температуры воды $\left(\frac{dt}{dx}\right)$:

$$\frac{dt}{dx} = \frac{c_p \gamma_{cp} v_{cp}}{q_{cp}} \cdot \frac{dT}{dx} + \frac{v_{cp} \rho \cdot 10^{-3}}{q_{cp}} \cdot \frac{de}{dx} =$$

$$= \frac{0,25 \gamma_{cp} v_{cp}}{q_{cp}} \cdot \frac{dT}{dx} + \frac{0,585 v_{cp}}{q_{cp}} \cdot \frac{de}{dx}, \quad (33)$$

где

β_v — объемный коэффициент теплоотдачи испарением $T \cdot \text{кал/м}^3 \cdot \text{час} \cdot \text{мм}$, определяемый по графикам на рис. 37—40;

c_p — теплоемкость влажного воздуха, принимаемая в расчетах постоянной и равной $0,25 \text{ кал/кг}$;

γ_{cp} — средний объемный вес воздуха в кг/м^3 , который может приближенно приниматься равным $0,98$ от объемного веса наружного воздуха;

$(t - T)$ — разность температуры воды и воздуха в град;

$(e_m - e)$ — разность максимальной упругости паров при температуре воды и упругости паров, находящихся в воздухе (абсолютной влажности воздуха) в мм рт. ст. ;

ρ — скрытая теплота испарения, принимаемая в расчетах постоянной и равной 585 кал/кг ;

v_{cp} — средняя скорость воздуха в оросителе, условно относимая к полному его сечению, в м/час ;

q_{cp} — средняя плотность орошения в градирне в $\text{кг/м}^2 \cdot \text{час}$.

Если определенная по уравнению (32) абсолютная влажность воздуха в каком-либо сечении превышает 100% влажности воздуха, излишнее количество паров воды конденсируется.

В этом случае дополнительное приращение температуры воздуха за счет конденсации пара находится по уравнению:

$$dT' = \frac{\delta \rho \cdot 10^{-3}}{c_p v_{cp}} = \frac{2,34 \delta}{\gamma_{cp}}, \quad (34)$$

где δ — количество сконденсированных паров в г, определяемое разностью абсолютной влажности воздуха, полученной по расчету, и влажности воздуха, соответствующей максимальному его насыщению при заданной температуре.

При снижении в последующем сечении относительной влажности воздуха ниже 100% за счет его нагрева сконденсированные капли воды вновь испаряются.

При расчете башенных градирен, когда скорость воздуха в оросительном устройстве неизвестна, тепловой расчет производится для нескольких (двух, трех) значений скорости воздуха, в пределах которых может находиться ожидаемая скорость.

Для каждого значения скорости воздуха последовательно по сечениям оросителя, начиная от начального, определяются состояние воздуха и температура воды.

В тех случаях, когда задан перепад температуры, а температура охлажденной воды является искомой, она определяется путем последовательных попыток до соблюдения условия:

$$t_2 + \Delta t = t_1. \quad (35)$$

Определение действительной скорости воздуха и температуры воды в башенной градирне производится на основании расчета ее сопротивления и тяги воздуха.

Сопротивление градирни выражается уравнением

$$h = \xi_{\text{общ}} \frac{v_{\text{ср}}^2 \gamma_{\text{ср}}}{2g}, \quad (36)$$

где h — сопротивление градирни в мм вод. ст.;
 $\xi_{\text{общ}}$ — коэффициент общего сопротивления градирни, условно относимый к средней скорости воздуха в полном сечении оросителя (без учета его стеснения);
 g — ускорение силы тяжести.

Величина тяги воздуха равна:

$$z = (H_0 + 0,5H_0)(\gamma_1 - \gamma_2), \quad (37)$$

где z — сила тяги в градирне в мм вод. ст.;
 H_0 — высота башни градирни над оросительным устройством в м;

H_0 — средняя высота оросителя в м;

γ_1 — объемный вес наружного воздуха в кг/м³;

γ_2 — объемный вес выходящего из градирни воздуха в кг/м³.

Решение уравнений сопротивления и тяги и определение скорости воздуха и температуры охлажденной воды удобнее производить графическим путем (см. пример расчета башенной градирни и рис. 42).

Тепловой расчет вентиляторных градирен более прост в связи с тем, что скорость воздуха в оросителе определяется производительностью вентиляторов и является известной величиной. Поэтому расчет вентиляторных градирен ограничивается расчетом оросительного устройства для заданной скорости воздуха.

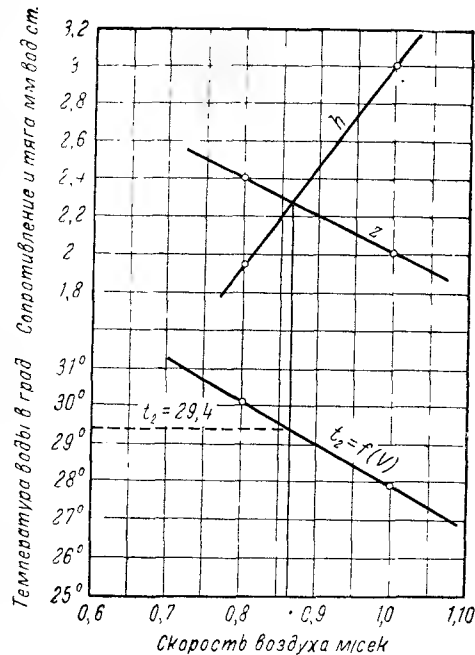


Рис. 42. Определение скорости воздуха и температуры, охлажденной воды в башенной градирне

Пример теплового расчета башенной градирни. Требуется определить температуру охлажденной воды в башенной градирне площадью орошения 1600 м² с противоточным движением воздуха.

Ороситель градирни пленочного типа со щитами ПЩ-85-40, средняя высота щитов оросителя 4 м, высота башни над верхом щитов оросителя 50 м, расход охлаждаемой воды в градирне 6000 м³/час, плотность орошения 6 м³/м²·час, перепад температуры 9°.

Расчетные метеорологические условия: температура наружного воздуха 25°, относительная влажность 40%.

Температура воды и состояние воздуха определяются по сечениям оросителя через 0,5 м по высоте для двух значений средней скорости воздуха, равных 0,8 и 1 м/сек.

Подставляем известные величины в исходные уравнения (31), (32) и (33). Скорость воздуха — 0,8 м/сек. Объемный коэффициент теплоотдачи испарением, определенный по графику на рис. 37 и относенный к высоте оросителя 0,5 м, с введением коэффициента перехода к натуре 0,85 будет равен:

$$\beta_v = 750 \cdot 0,5 \cdot 0,85 = 319;$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{1,84 \cdot 319}{0,98 \cdot 1,155 \cdot 0,8 \cdot 3600} (t - T) = 0,180 (t - T);$$

$$\frac{de}{dx} = \frac{319}{0,8 \cdot 3600 \cdot 0,585} (e_m - e) = 0,190 (e_m - e);$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{0,25 \cdot 0,98 \cdot 1,155 \cdot 0,8 \cdot 3600}{6,00 \cdot 1000} \frac{dT}{dx} + \frac{0,585 \cdot 0,8 \cdot 3600}{6,00 \cdot 1000};$$

$$\frac{de}{dx} = 0,136 \frac{dT}{dx} + 0,281 \frac{de}{dx}.$$

Скорость воздуха — 1 м/сек

$$\beta_v = 850 \cdot 0,5 \cdot 0,85 = 361;$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{1,84 \cdot 361}{0,98 \cdot 1,155 \cdot 1,0 \cdot 3600} (t - T) = 0,163 (t - T);$$

$$\frac{de}{dx} = \frac{361}{1,0 \cdot 3600 \cdot 0,585} (e_m - e) = 0,172 (e_m - e);$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{0,25 \cdot 0,98 \cdot 1,155 \cdot 1,0 \cdot 3600}{6,00 \cdot 1000} \frac{dT}{dx} + \frac{0,585 \cdot 1,0 \cdot 3600}{6,00 \cdot 1000} \frac{de}{dx} = 0,170 \frac{dT}{dx} + 0,351 \frac{de}{dx}.$$

Задавая температуру охлажденной воды, близкой к ожидаемой, определяем по полученным уравнениям изменение температуры и влажности воздуха, а также температуру воды по участкам оросителя при скорости воздуха 0,8 и 1 м/сек. Определенная в результате расчета начальная температура воды t_1 должна удовлетворять заданному перепаду температур, т. е. $t_1 = t_2 - \Delta t$, в противном случае необходимо изменить температуру охлажденной воды и провести расчет заново до соблюдения этого условия.

Результаты расчетов приведены в табл. 15 и 16.

Расчет сопротивления и тяги. Величина сопротивления градирни определена по уравнению (36) при коэффициенте общего сопротивления в градирне, определенному по графику на рис. 31 и равному 52.

Объемный вес воздуха в оросителе определен по средним значениям его температуры и влажности, приведенным в табл. 15 и 16.

Величина сопротивления градирни равна:

а) при скорости воздуха 0,8 м/сек:

$$h = 52 \cdot \frac{0,8^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,131 = 1,92 \text{ мм вод. ст.};$$

б) при скорости воздуха 1 м/сек:

$$h = 52 \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,136 = 3,00 \text{ мм вод. ст.}$$

Величина тяги воздуха, определенная по уравнению (37) при высоте щитов оросителя 4 мм и высоте башни над верхом щитов оросителя 50 м, будет равна:

а) при скорости воздуха 0,8 м/сек:

$$z = (55 - 0,5 \cdot 4) \cdot (1,155 - 1,108) = 2,60 \text{ мм вод. ст.};$$

б) при скорости воздуха 1 м/сек:

$$z = (55 - 0,5 \cdot 4) \cdot (1,155 - 1,117) = 2,01 \text{ мм вод. ст.}$$

Для определения искомой температуры охлажденной воды на рис. 42 построены кривые сопротивления градири и тяги воздуха, а также кривая температуры охлажденной воды в зависимости от скорости воздуха в оросителе.

Искомая температура охлажденной воды в градири определяется путем сноса точки пересечения кривых сопротивления и тяги воздуха на кривую температур охлажденной воды.

Для данного примера средняя скорость воздуха в оросителе будет 0,865 м/сек, а температура охлажденной воды в градири — 29,4°.

Скорость воздуха—0,8 м/сек

Таблица 15

x	t	T	t-T	$\frac{dT}{dx}$	e_m	e	$e_m - e$	$\frac{de}{dx}$	$\frac{dt}{dx}$
0	30,20	25,00	5,20	0,94	32,19	9,40	22,79	4,33	1,35
0,5	31,35	25,94	5,61	1,01	34,76	13,73	21,03	4,00	1,26
1,0	32,81	26,95	5,86	1,05	37,33	17,73	19,60	3,72	1,18
1,5	33,99	28,00	5,99	1,08	39,66	21,45	18,21	3,46	1,12
2,0	35,11	29,08	6,03	1,08	42,43	24,91	17,52	3,33	1,09
2,5	36,20	30,16	6,04	1,09	45,05	28,24	16,81	3,19	1,05
3,0	37,5	31,25	6,00	1,08	47,71	31,43	16,28	3,09	1,02
3,5	38,27	32,33	5,94	1,07	50,42	34,52	15,90	3,02	0,99
4,0	39,26	33,40	5,86	1,05	52,89	37,54	15,35	2,92	0,97

Примечание. В результате подсчета оказывается, что перепад температуры равен $\Delta t = 39,3 - 30,2 = 9,1^\circ$, объемный вес входящего воздуха — 1,155 кг/м³, а выходящего — 1,106 кг/м³.

Скорость воздуха—1 м/сек

Таблица 16

x	t	T	t-T	$\frac{dT}{dx}$	e_m	e	$e_m - e$	$\frac{de}{dx}$	$\frac{dt}{dx}$
0	28,00	25,00	3,00	0,49	28,35	9,40	18,95	3,26	1,22
0,5	29,22	25,49	3,73	0,61	30,43	12,66	17,77	3,06	1,18
1,0	30,40	26,10	4,30	0,70	32,56	15,72	16,84	2,90	1,14
1,5	31,54	26,80	4,74	0,77	34,75	18,62	16,13	2,77	1,10
2,0	32,64	27,57	5,07	0,83	36,97	21,39	15,58	2,68	1,08
2,5	33,72	28,40	5,32	0,87	39,28	24,07	15,21	2,62	1,07
3,0	34,79	29,27	5,52	0,90	41,69	26,69	15,00	2,58	1,05
3,5	35,84	30,17	5,67	0,92	44,18	29,27	14,91	2,56	1,06
4,0	36,90	31,09	5,81	0,94	46,88	31,83	15,05	2,59	1,07

Примечание. В результате подсчета оказывается, что перепад температуры равен $\Delta t = 36,9 - 28,0 = 8,9^\circ$, объемный вес входящего воздуха — 1,155 кг/м³, а выходящего — 1,117 кг/м³.

§ 6. Графики охлаждения воды в градириях

Номограмма для теплового расчета открытых брызгальных градири, построенная с учетом плотности орошения в градириях от 2,5 до 3 м³/м² час и при высоте расположения сопел 4 м, приведена на рис. 43.

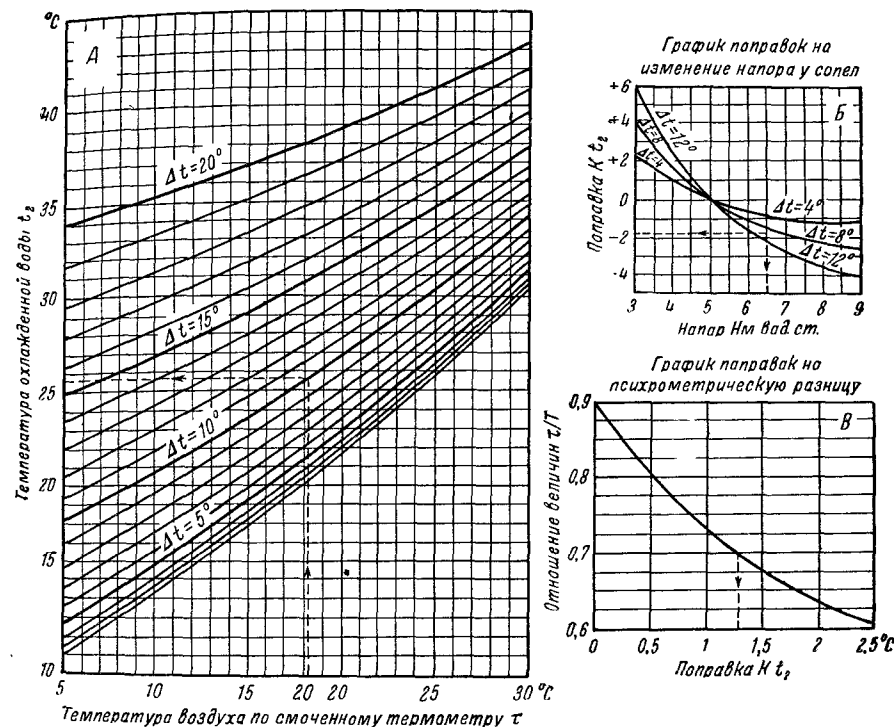


Рис. 43. Номограмма для расчета открытых брызгальных градири

По графику А по заданным температуре смоченного термометра τ и перепаду температур Δt определяется температура охлажденной воды в градири.

График построен, исходя из напора у сопел 5 м вод. ст. и отношения температуры смоченного термометра к температуре воздуха $\frac{\tau}{T} \leq 0,9$. При иных значениях H и $\frac{\tau}{T}$ вводятся поправки, определяемые по графикам Б и В.

Пример. Определить температуру охлажденной воды в открытой брызгальной градири при следующих условиях: плотность орошения 2,5 м³/м² час, перепад температуры 10°, температура воздуха 26°, температура смоченного термометра 18,1°, напор у сопел 6,5 м вод. ст.

По графику А для $\tau = 18,2^\circ$ и $\Delta t = 10^\circ$ находим $t_2 = 25,6^\circ$.

Поправку на $H=6.5$ м определяем по графику Б. Она будет равна $1,8^\circ$.

Поправка на $\frac{\tau}{T} = \frac{18,2}{26} = 0,7$ по графику В будет равна $+1,3^\circ$.

Температура охлажденной воды в открытой брызгальной градирне будет равна:

$$t_2 = 25,6^\circ - 1,8^\circ + 1,3^\circ = 25,1^\circ.$$

Номограмма для теплового расчета открытых капельных градирен приведена на рис. 44. По графику А определяется перегрев температуры охлажденной в градирне воды над температурой смоченного термометра в зависимости от плотности орошения и перепада температур.

График построен для градирни шириной до 4 м с десятью ярусами решетника при температуре смоченного термометра 20° и скорости ветра $1,5$ м/сек.

При иных значениях температуры смоченного термометра и скорости ветра и числе ярусов решетника перегрев температуры охлажденной воды определяется по графику А по приведенной плотности орошения, равной:

$$q_1 = \frac{q}{\alpha_\tau \alpha_w \alpha_n}, \quad (38)$$

где α_τ , α_w , α_n — поправочные коэффициенты, определяемые по по графикам Б, В и Г.

Поправочные коэффициенты на скорость ветра α_w и температуру смоченного термометра α_τ определяются по графику Б.

При решетчатых жалюзи коэффициент α_w определяется при $W' = 0,9 W$.

Поправочный коэффициент на число ярусов градирни α_n определяется по графику В. На графике приведена также высота градирни, соответствующая принятому числу ярусов решетника (пунктирная кривая).

Поправка к температуре охлажденной воды на $\frac{\tau}{T}$ вычисляется по графику Г.

Пример. Требуется определить температуру охлажденной воды в открытой капельной градирне с решетчатыми жалюзи при числе ярусов решетника 12, что соответствует общей высоте градирни 11 м.

Плотность орошения в градирне $3,7$ м³/м² час, перепад температуры 14° , температура воздуха $27,5^\circ$, температура смоченного термометра 22° , скорость ветра $1,3$ м/сек.

Поправочные коэффициенты:

α_w — определенный по графику Б для $W=0,9 \cdot 1,3=1,17$, равен $0,94$;

α_τ — для $\tau=22^\circ$ равен $1,11$;

α_n — для $n=12$ равен $1,18$

$$\text{Приведенное значение } q_1 = \frac{3,7}{0,94 \cdot 1,11 \cdot 1,18} = 3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}.$$

Перегрев $(t_2 - \tau)$ определяется по графику А для $q=3$ м³/м² час и $\Delta t = 14^\circ$; $(t_2 - \tau) = 6,5^\circ$.

Поправка на $\frac{\tau}{T} = \frac{22,0}{27,5} = 0,8$ по графику Г будет равна $0,5^\circ$.

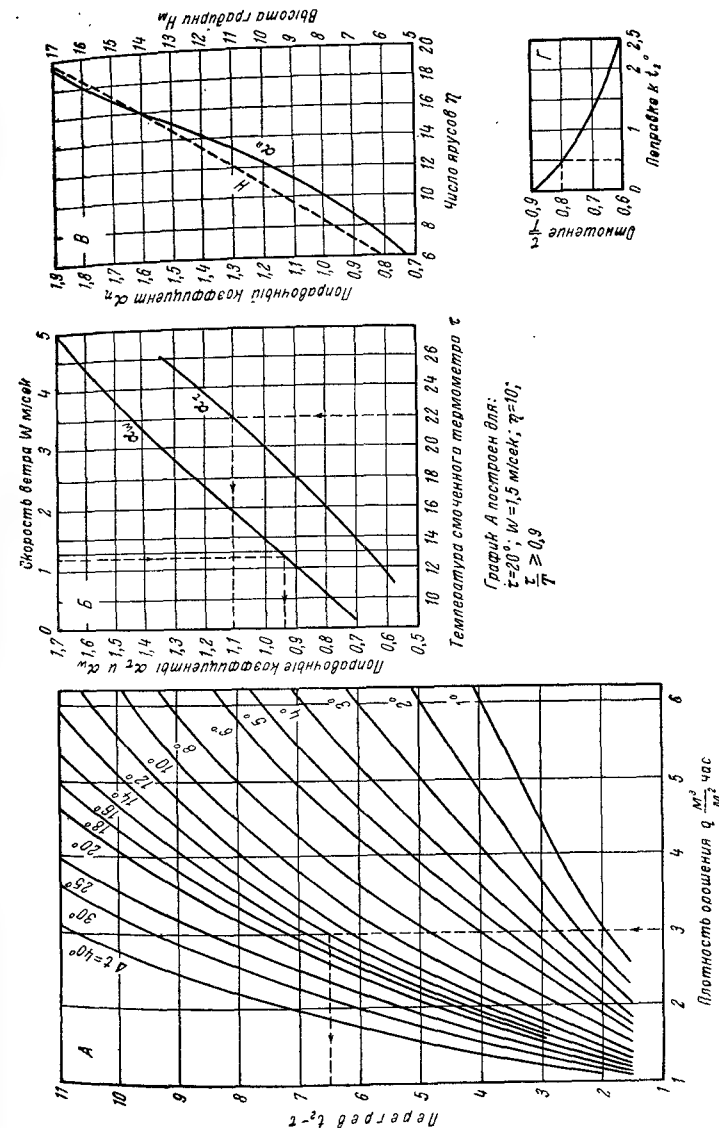
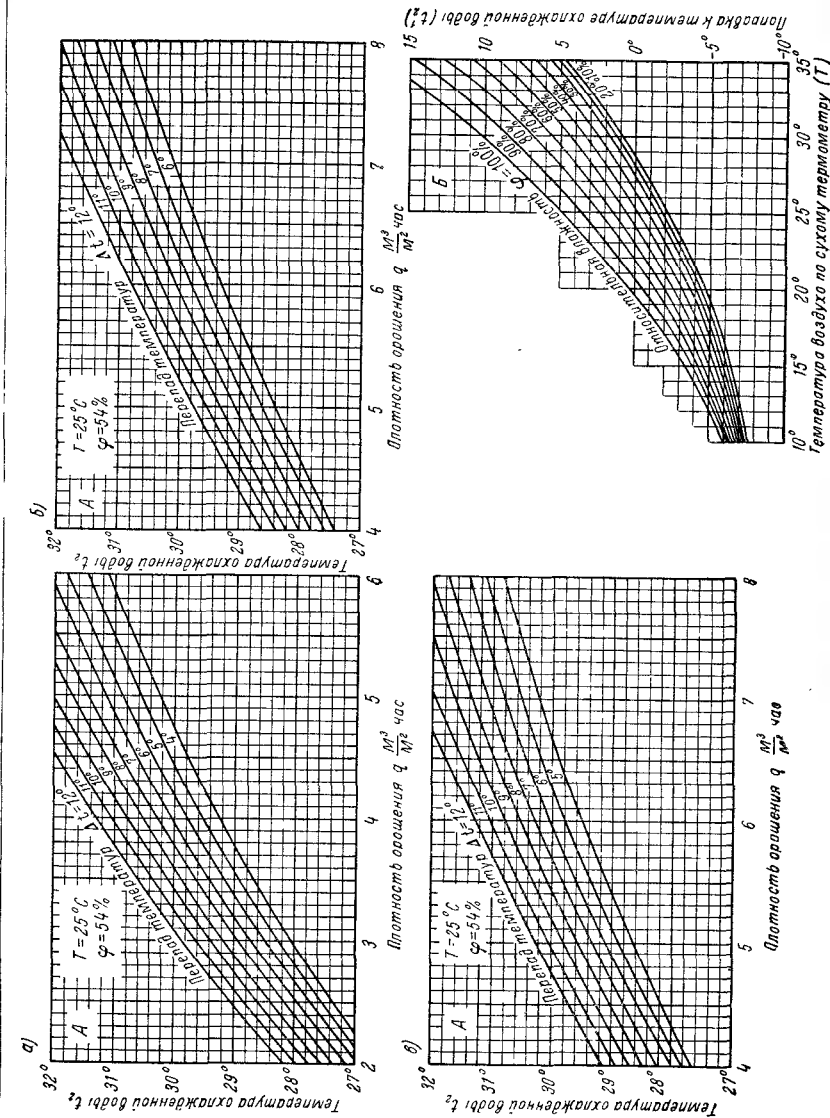


Рис. 44. Номограмма для расчета открытых капельных градирен



Температура охлажденной воды в градири будет равна:

$$t_2 = 22^\circ + 6,5^\circ + 0,5^\circ = 29^\circ.$$

Графики охлаждения воды в башенных капельных, капельно-пленочных и пленочных градирих приведены на рис. 45.

Руководствуясь графиками А по плотности орошения и перепаду температур, определяется температура охлажденной воды при температуре воздуха 25° и относительной его влажности 54% .

Поправка на другие значения температуры и влажности воздуха определяется по графикам Б.

Пример. Определить температуру охлажденной воды в башенной пленочной градири при плотности орошения $q = 6,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$, перепаде температуры $\Delta t = 8^\circ$, температуре воздуха $T = 21,0^\circ$ и его относительной влажности $\varphi = 58\%$.

По графику А на рис. 50 находим $t'_2 = 30,2^\circ$.

Поправка к температуре охлажденной воды, определенная по графику Б для $T = 21^\circ$ и $\varphi = 58\%$, будет равна $-2,1^\circ$.

Искомая температура охлажденной воды будет равна:

$$t_2 = 30,2^\circ - 2,1^\circ = 28,1^\circ.$$

Графики охлаждения для башенных брызгальных градири не разработаны. Температуру охлажденной в них воды ориентировочно можно определять по графикам, принятым для капельных градири с введением поправки $+4^\circ$.

Графики для теплового расчета вентиляторных градири с пленочным оросителем при средней скорости воздуха в оросителе $1,7\text{—}1,8 \text{ м/сек}$ приведены на рис. 46. Пользуясь графиком А по заданной плотности орошения и перепаду температур, определяется значение t'_2 при температуре смоченного термометра $\tau = 11^\circ$.

При иных значениях температуры смоченного термометра температуру охлажденной воды можно установить по графику Б. Нижняя его часть служит для определения температуры смоченного термометра, причем исходными в этом случае являются температура воздуха и его относительная влажность.

Для вентиляторных градири с капельным оросителем к температуре охлажденной воды в градири, установленной по графику, вводится поправка $+1,5^\circ$.

Пример. Определить температуру охлажденной воды в вентиляторной градири с пленочным оросителем при средней скорости воздуха в оросителе $1,8 \text{ м/сек}$, при плотности орошения $q = 6,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$, перепаде температуры $\Delta t = 12^\circ$, температуре воздуха $T = 26^\circ$ и относительной его влажности $\varphi = 50\%$, что отвечает температуре смоченного термометра $\tau = 19,2^\circ$.

По графику А находим $t'_2 = 21,7^\circ$.

По графику Б для $T = 26^\circ$ и $\varphi = 50\%$, $\tau = 19,2^\circ$ и $t'_2 = 21,7^\circ$ находим $t_2 = 27,7^\circ$.

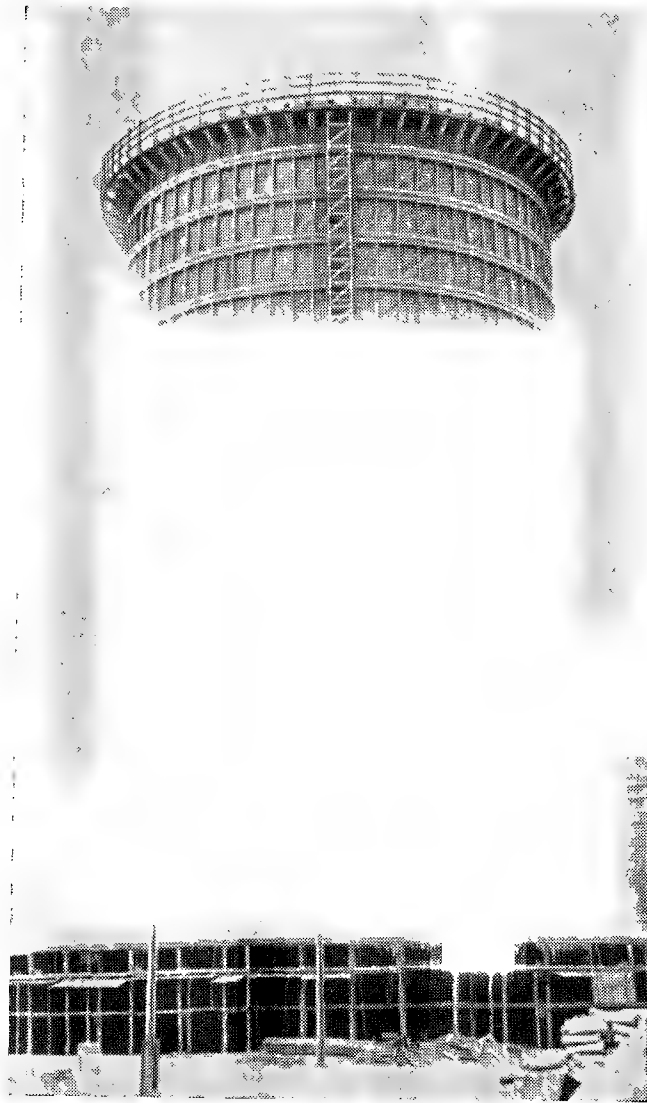


Рис. 47. Деревянная башня градирни типа оболочки

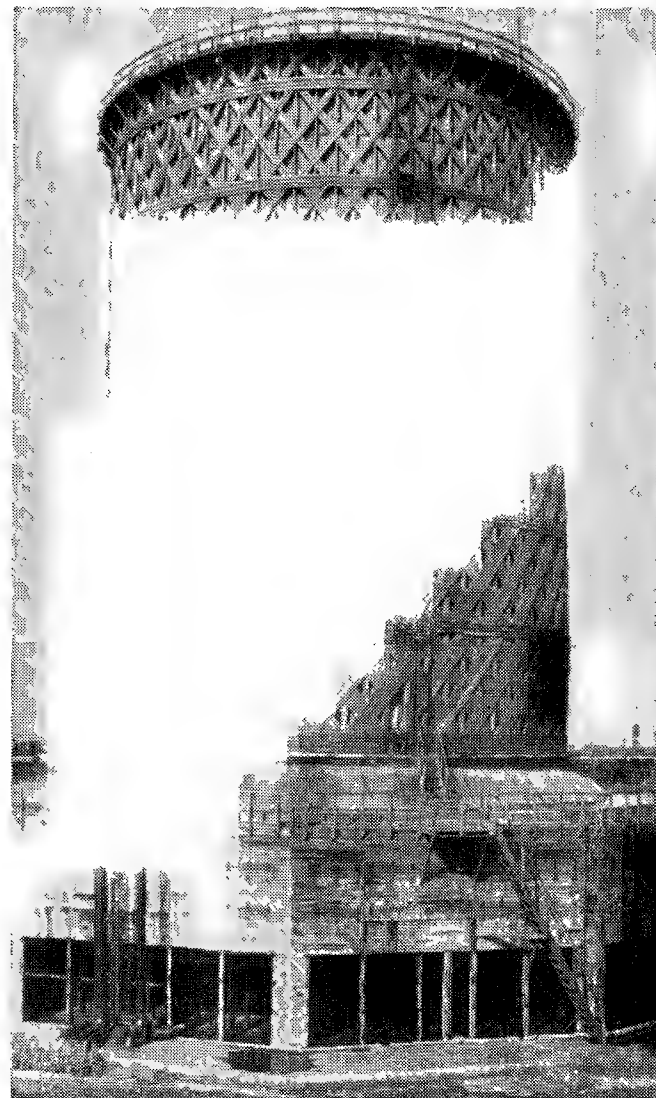


Рис. 48. Деревянная башня градирни сетчатой конструкции

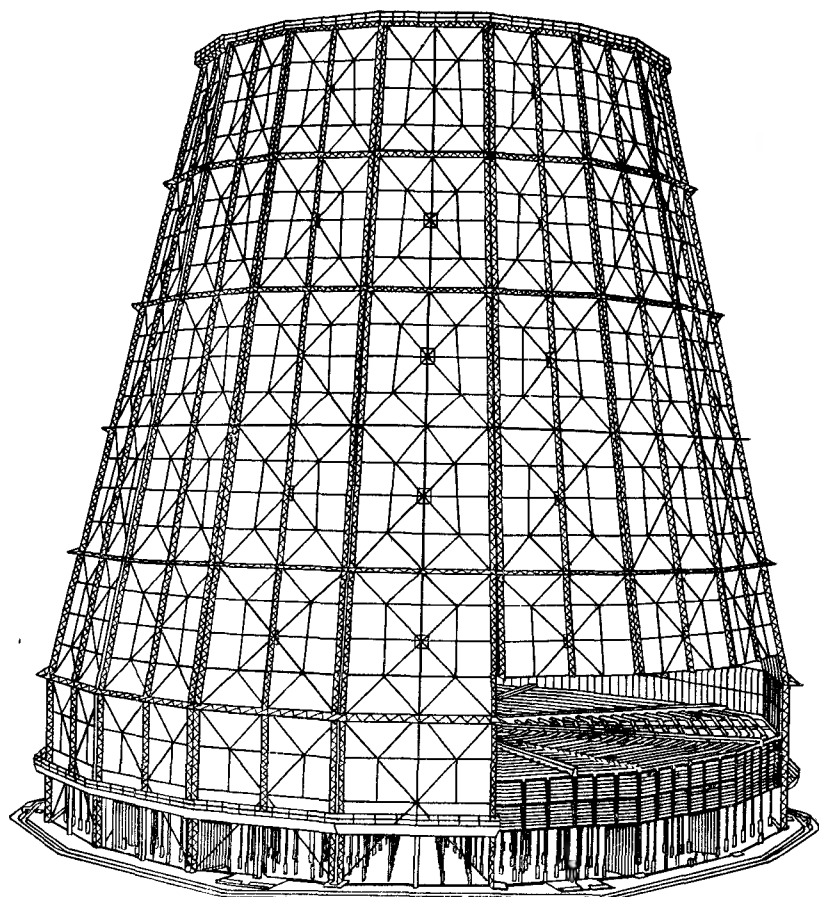


Рис. 49. Башня со стальным каркасом и асбестоцементной обшивкой

шой производительности более рациональными являются башни в виде стального каркаса с обшивкой деревом или асбестоцементными листами или железобетонные башни.

Деревянные башни выполняются из антисептированного лесоматериала. Они могут быть бескаркасного типа в виде оболочки, выполненной из двух слоев досок, расположенных под углом 45° во взаимно-перпендикулярном направлении (рис. 47) с каркасом из брусьев типа башни Шухова или с сетчатым каркасом из досок (рис. 48).

Для градирен средней и большой производительности преимущественное распространение получили башни в виде стального каркаса с обшивкой с внутренней стороны, выполняемой в виде деревянных щитов или из волнистых асбестоцементных листов.

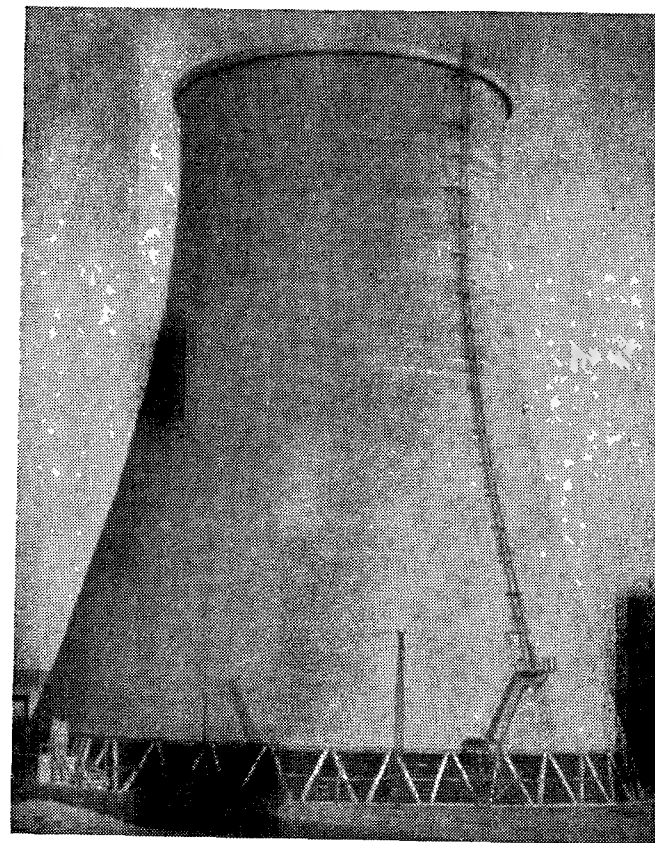


Рис. 50. Железобетонная башня гиперболической формы

К достоинству таких башен относится их долговечность, а также возможность скоростного монтажа.

Укрупнительная сборка монтажных марок производится у градирни с установкой их на место башенным краном.

Стальной каркас башни окрашивается антикоррозийной краской.

Асбестоцементные листы, применяемые для обшивки башни, должны пропитываться на заводе парафино-стеариновой эмульсией или покрываться с 2-х сторон защитной окраской.

Уплотнение асбестоцементных листов обшивки производится битумной мастикой.

Конструкция башенной пленочной градирни площадью орошения 2600 м^2 с башней в виде стального каркаса с асбестоцементной обшивкой приводится на рис. 49.

Железобетонные башни выполняются обычно из монолитного железобетона в виде оболочек гиперболической формы, перемен-

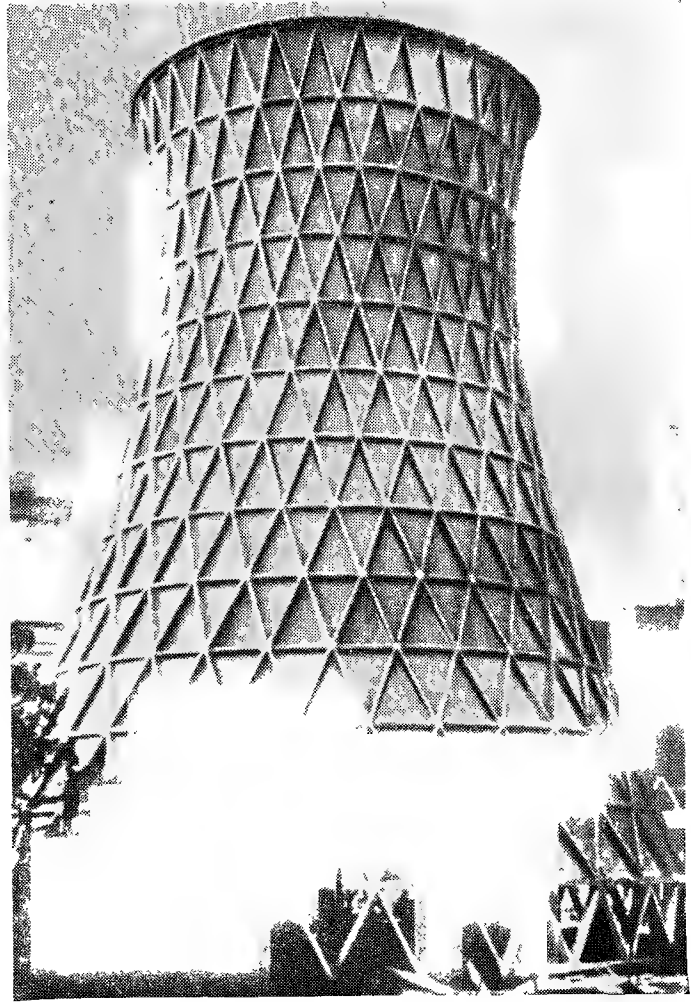
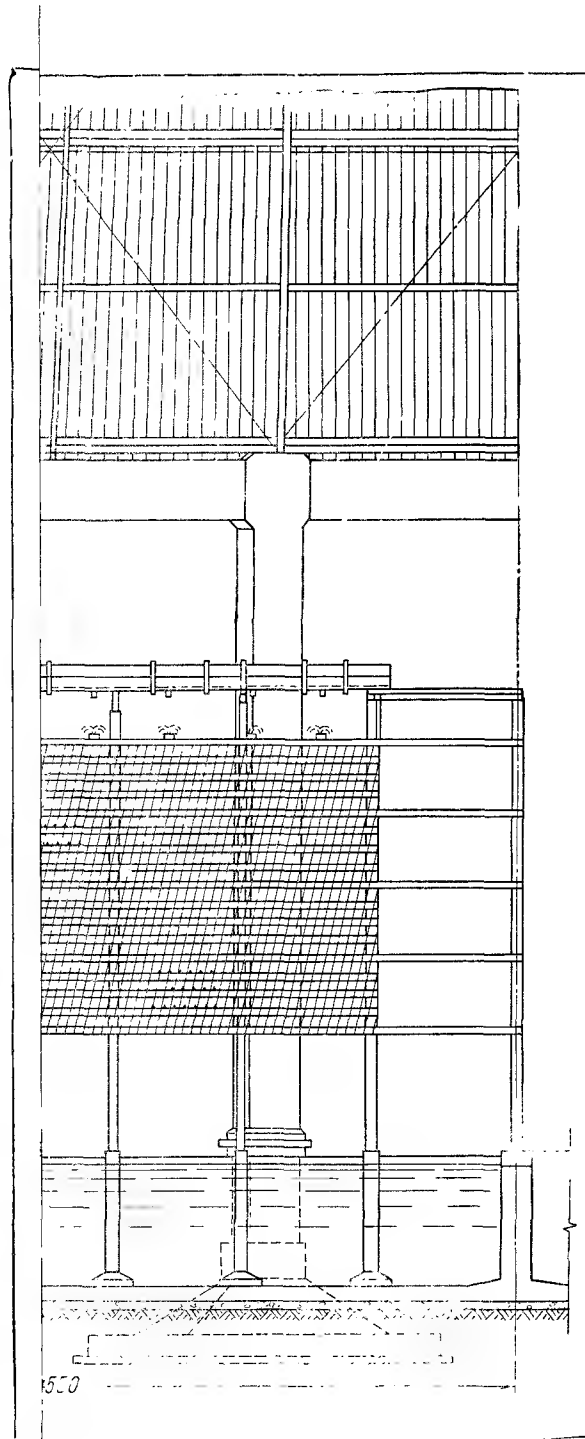


Рис. 51. Башня из сборного железобетона

ной толщиной от 100—120 мм вверху до 300—400 мм в основании (рис. 50).

Иногда применяются железобетонные башни цилиндрической формы, возводимые в подвижной опалубке. Цилиндрические башни более просты в строительстве, но требуют большего расхода железобетона, чем башни гиперболической формы.

Вследствие небольших скоростей воздуха на выходе из цилиндрических башен, они в большей степени подвержены задуванию ветром, что нарушает тягу и ухудшает охлаждающую способность градирен.



зо-
1).
ей
ис-
на
те
ся
лм

ен

и
и-
ны
ни

ля
а-

а-
ль-
ны
ся
ю-

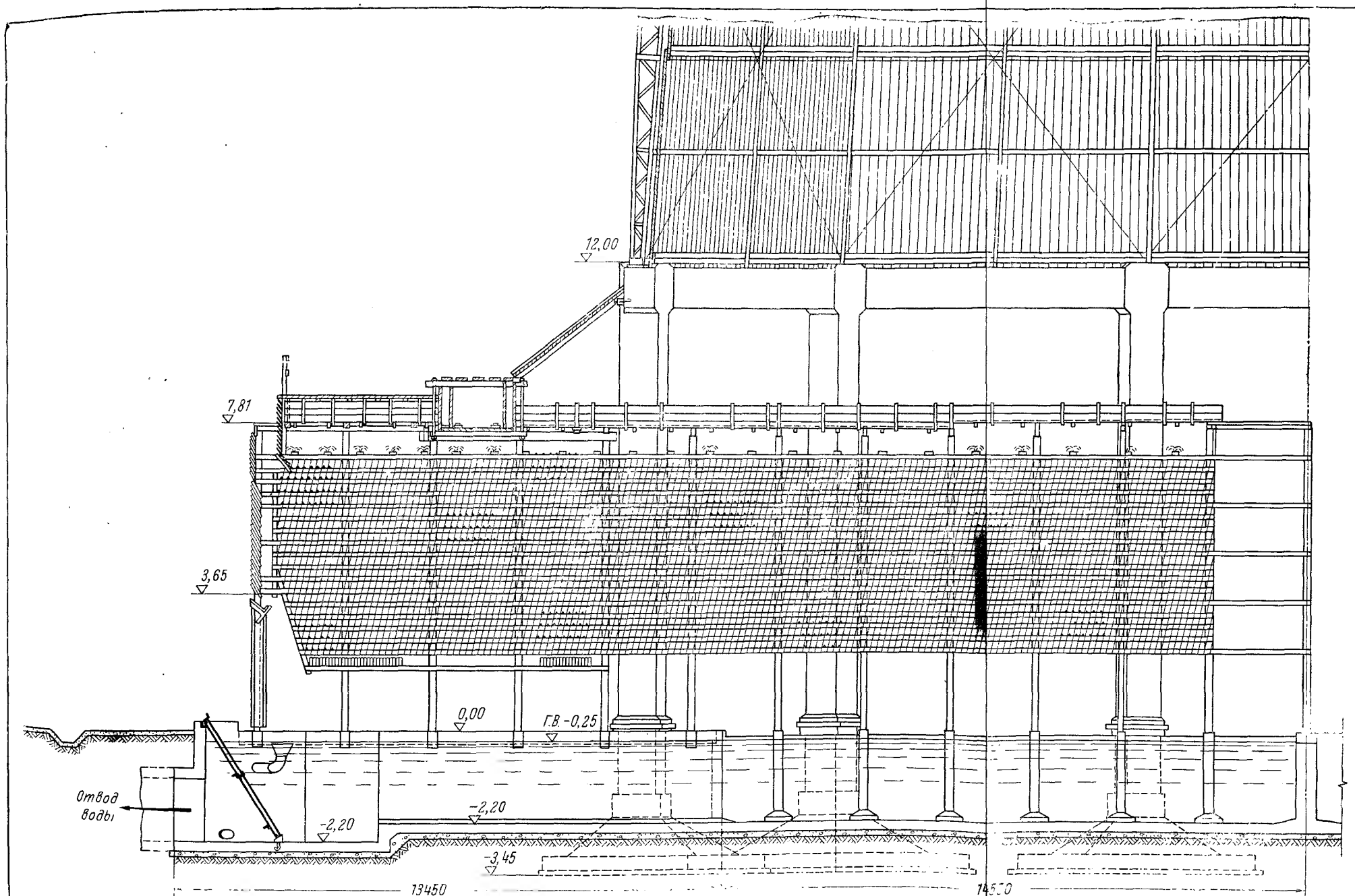


Рис. 53. Оросительное устройство капельной грядки

В практике имеются отдельные случаи сооружения железобетонных башен градирен из сборного железобетона (рис. 51).

Железобетонные оболочки башен покрываются с внутренней стороны гидроизоляцией — раствором битума в бензине или асфальтовой штукатуркой, предохраняющей поверхность бетона от воздействия конденсирующихся паров воды. При высоте свыше 50 м в верхней части башен градирен устанавливаются светооградительные огни. Башни оборудуются грозозащитным устройством.

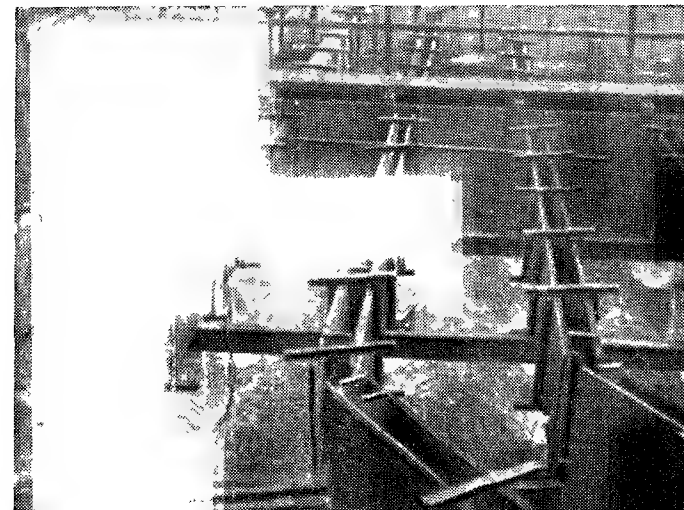


Рис. 52. Водораспределительное устройство градирни

Водораспределительные и оросительные устройства градирен обычно выполняются из дерева.

Общий вид водораспределительного устройства капельной и пленочной градирни приведен на рис. 52. Конструкции оросительных устройств капельной и пленочной градирен показаны на рис. 53 и 54. Об оросительном устройстве башенной градирни капельно-пленочного типа можно судить по рис. 55.

Стремление сократить сроки и упростить монтаж оросителя привело к применению конструкции оросителя из блоков, устанавливаемых в готовом виде.

Затруднения с получением качественной древесины для градирен вызвали в ряде случаев применение башенных брызгальных градирен, в которых взамен оросителей были осуществлены брызгальные устройства. Однако этот тип градирен оказался малоэффективным и может применяться лишь в отдельных, особых случаях.

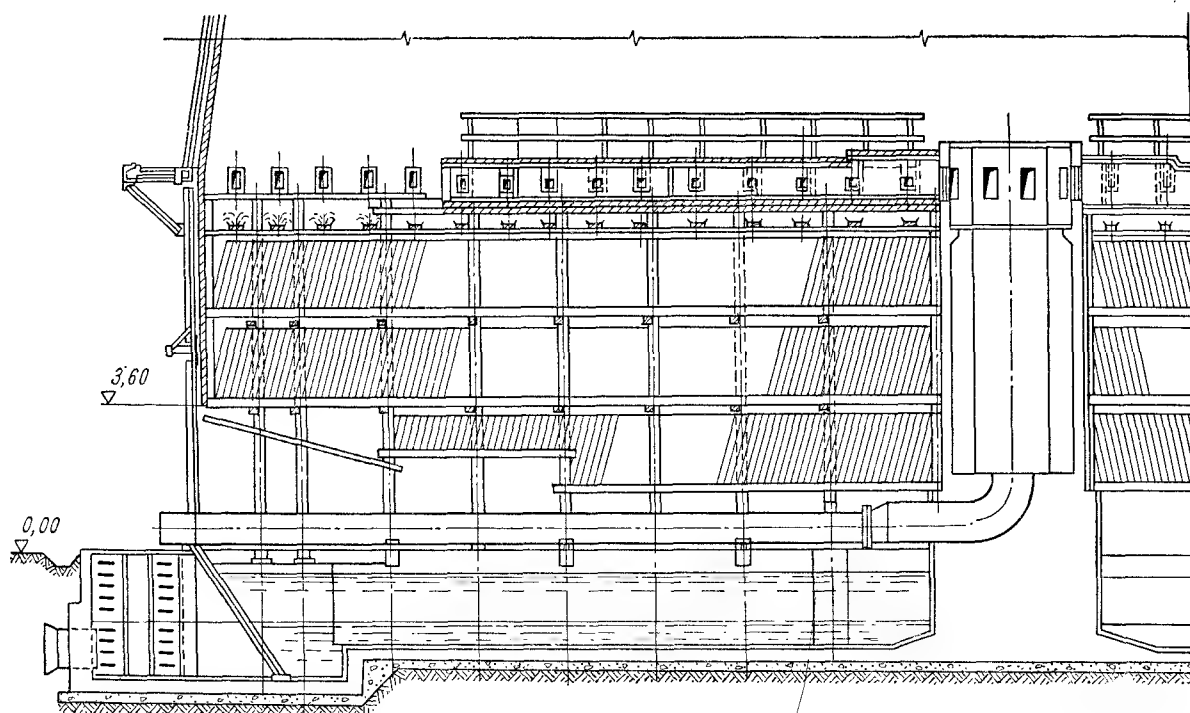


Рис. 54. Оросительное устройство пленочной градирии

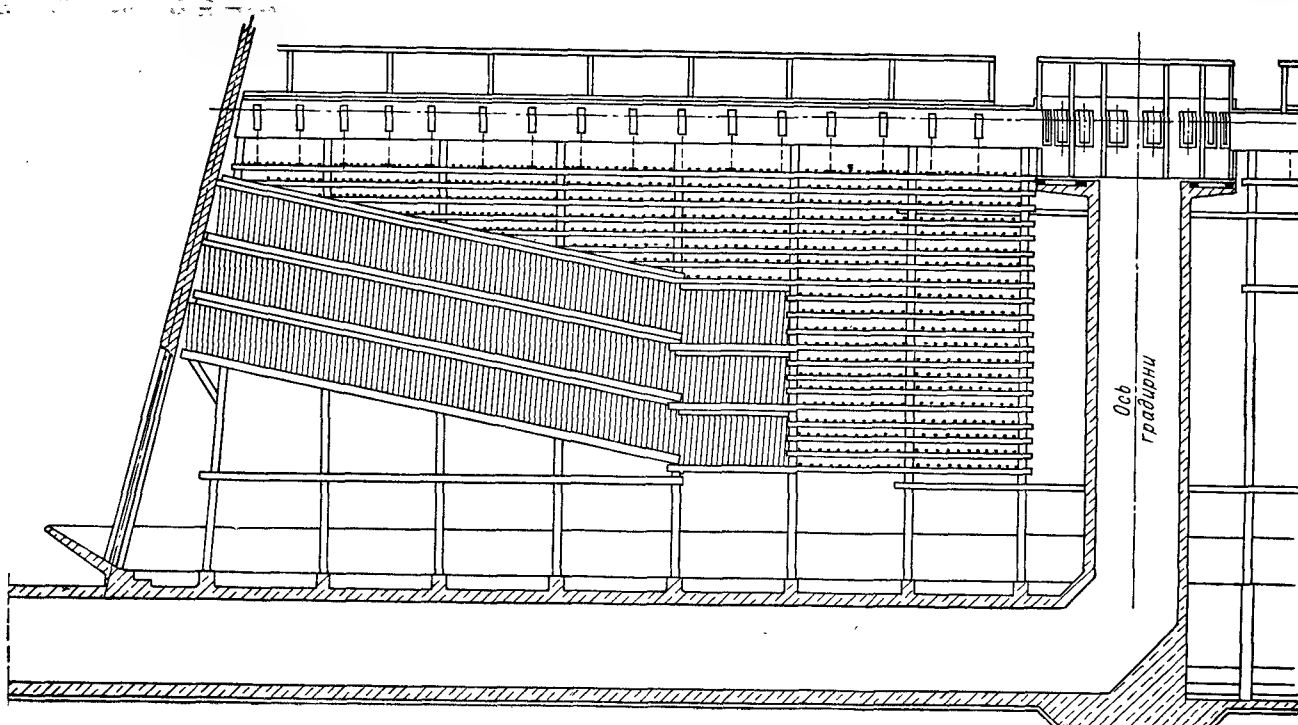


Рис. 55. Оросительное устройство капельно-пленочной градирии

The image contains three technical diagrams labeled a), b), and c), illustrating different types of air filter elements and their arrangement in a housing.

- Diagram a)** shows a cross-section of a housing with a zigzag internal structure. The air flow direction is indicated by an arrow labeled "Направление воздуха" (Air flow direction). The filter elements are represented by hatched rectangles. Dimensions include a width of 200, a height of 13, and a distance of 12 between elements. A total height of 150 is also indicated.
- Diagram b)** shows a top-down view of a filter element arrangement. The air flow direction is indicated by an arrow labeled "Направление воздуха". The elements are arranged in a staggered pattern. Dimensions include a width of 70, a height of 25, and a distance of 12 between elements. A 60° angle is shown for the elements, and a total width of 175 is indicated.
- Diagram c)** shows a side view of a filter element arrangement. The air flow direction is indicated by an arrow labeled "Направление воздуха". The elements are arranged in a staggered pattern. Dimensions include a width of 56, a height of 145, and a distance of 12 between elements.

При просадочных грунтах в основание бассейна укладывается дренажный слой из щебня на железобетонном основании (поддоне) с выпусками в контрольные колодцы для проверки степени фильтрации воды.

а) башенные, оборудованные вентиляторами большого диаметра, работающие на комбинированной тяге воздуха;

б) секционные, состоящие из ряда стандартных секций, каждая из которых обслуживается отдельным вентилятором.

Ввиду отсутствия низкооборотных электродвигателей вентиляторы приходится устанавливать с редукторами, что усложняет оборудование и снижает к. п. д. вентиляторной установки.

ния расхода воздуха в целях уменьшения расхода электроэнергии, потребляемой вентиляторами, что может осуществляться как путем изменения числа оборотов вентиляторов (при установке гидромукт или двухскоростных электродвигателей), так и путем выключения из работы отдельных вентиляторов. Конструктивные решения водораспределительного и оросительного устройства вентиляторных градилен аналогичны башенным.

100

Башенные вентиляторные градирни (рис. 57) выполняются обычно с противоточным движением воздуха. Вентиляторы располагаются над оросителем в суженной горловине башни. Привод вентиляторов состоит из электродвигателя, редуктора и гидромуфты, служащей для изменения числа оборотов вентилятора, и размещается в железобетонной галерее, расположенной в пределах водосборного бассейна.

Число оборотов вентилятора может регулироваться автоматически, в зависимости от температуры охлажденной воды, путем установки на трубопроводах охлажденной воды терморпар, воздействующих через специальные реле на масляный насос, подающий масло в гидромуфту.

В башенных вентиляторных градирнях применяются осевые вентиляторы больших диаметров: от 10 400 до 18 000 мм.

Основные данные по этим вентиляторам приводятся в табл. 17.

Таблица 17

Характеристика осевых вентиляторов башенных градирен

Диаметр вентилятора в мм	Максимальное число оборотов вентиляторов	Производительность в м ³ /час	Напор в мм вод. ст.	Мощность электродвигателя в кВт	Число оборотов электродвигателя
10 400	92 (максимум)	2,76·10 ⁶	12,0	240	1 500
10 400	70	2,10·10 ⁶	11,5	130	—
10 400	45	1,35·10 ⁶	5,0	57	—
12 600	64 (максимум)	3,60·10 ⁶	15,0	260	1 000
17 000	66 (максимум)	9,00·10 ⁶	14—15	630	1 000
18 000	—	10,00·10 ⁶	14—15	800	—

Вследствие сложности оборудования и относительно высокой стоимости башенные вентиляторные градирни не получили широкого распространения.

Секционные вентиляторные градирни (рис. 58) состоят из стандартных секций прямоугольной формы и оборудуются вентиляторами нагнетательного или отсасывающего действия. Вентиляторы нагнетательного действия устанавливаются у основания градирни, а вентиляторы отсасывающего — над оросителем. Отсасывающие вентиляторы обладают следующими преимуществами перед нагнетательными:

а) вследствие расположения вентиляторов в зоне теплого воздуха, выходящего из градирни, обмерзания вентиляторов в зимнее время не наблюдается;

б) воздух в оросителях распределяется с лучшей равномерностью;

в) градирни в меньшей степени подвержены рециркуляции.

Рециркуляция воздуха возникает при наличии ветра, когда выходящий из градирни влажный воздух засасывается в окна

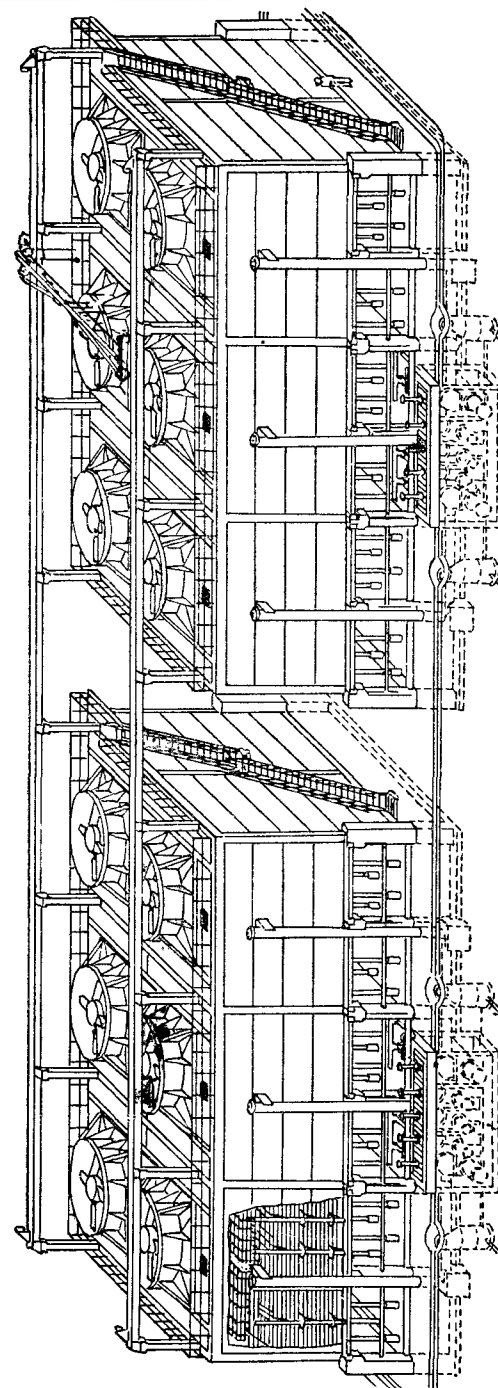


Рис. 58. Секционная вентиляторная градирня

градирни с подветренной стороны, снижая ее охлаждающую способность.

Интенсивность рециркуляции зависит от скорости ветра, скоростей выходящего из вентилятора и входящего в окна градирни воздуха и расстояния от выхода воздуха из градирни до входных окон градирни.

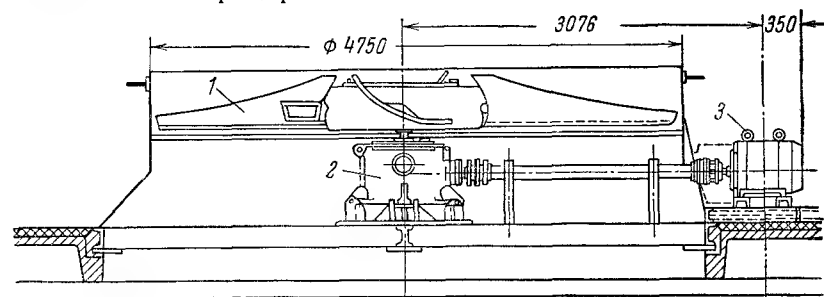


Рис. 59. Вентилятор 1BG-47:
1—вентилятор; 2—редуктор; 3—электродвигатель

Явлению рециркуляции более подвержены вентиляторные градирни с нагнетательными вентиляторами в связи с меньшими скоростями выходящего из градирен воздуха и большими скоростями воздуха на входе в градирню.

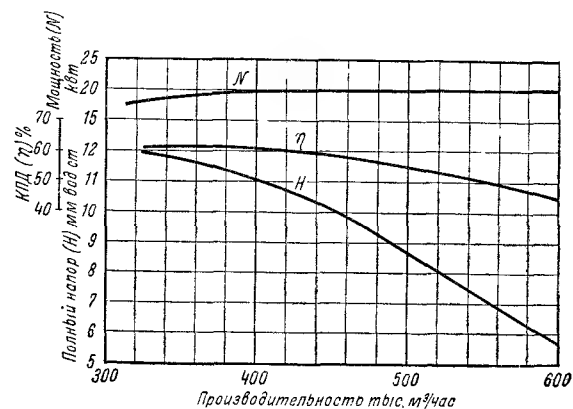


Рис. 60. Характеристика вентилятора 1BG-47 (при угле установки лопастей 13°)

В секционных вентиляторных градирнях применяются следующие конструкции вентиляторов:

1. Вентиляторная установка завода 1BG-47 (рис. 59). Диаметр вентилятора 4700 мм, производительность при угле установки лопастей 13°, числе оборотов 192 в 1 мин. и статическом напоре 11 мм вод. ст. составляет 400 000 м³/час.

Характеристика вентилятора приведена на рис. 60.

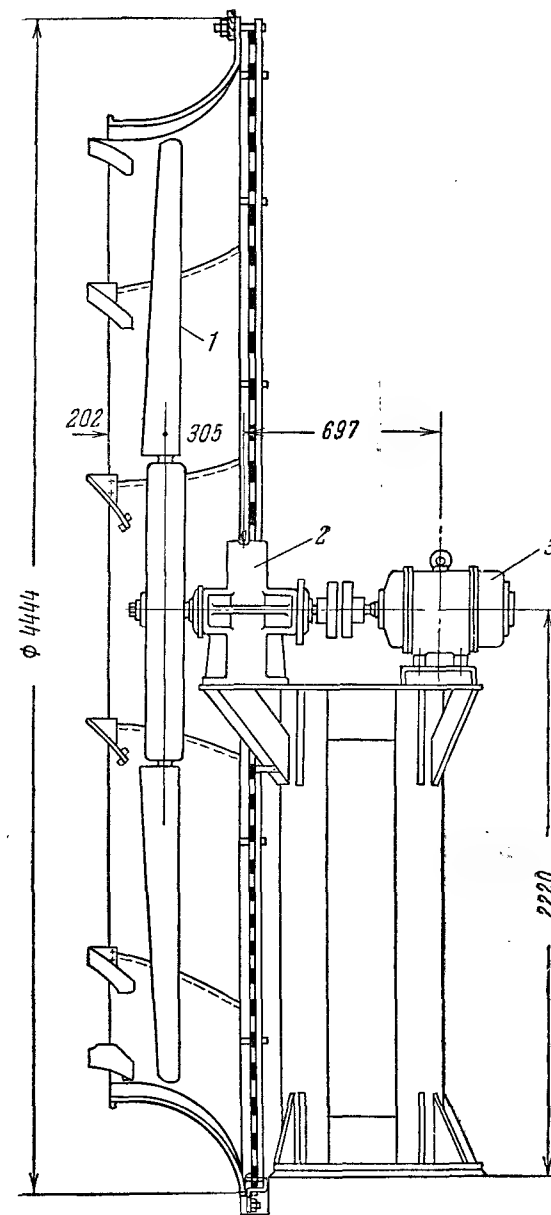


Рис. 61. Нагнетательный вентилятор:
1—вентилятор; 2—редуктор; 3—электродвигатель

Приводом вентилятора служит электродвигатель мощностью 29 кВт, устанавливаемый с угловым редуктором, имеющим передаточное число 1:7,6.

2. Вентилятор с горизонтальной осью вращения нагнетательного действия диаметром 3660 мм (рис. 61). Производительность этого вентилятора составляет около 40 000 м³/час при числе оборотов 227 в 1 мин. и напоре 14 мм вод. ст.

Вентилятор устанавливается с электродвигателем мощностью 20 кВт, с числом оборотов 500 в мин. и редуктором, имеющим передаточное число 1:6,61.

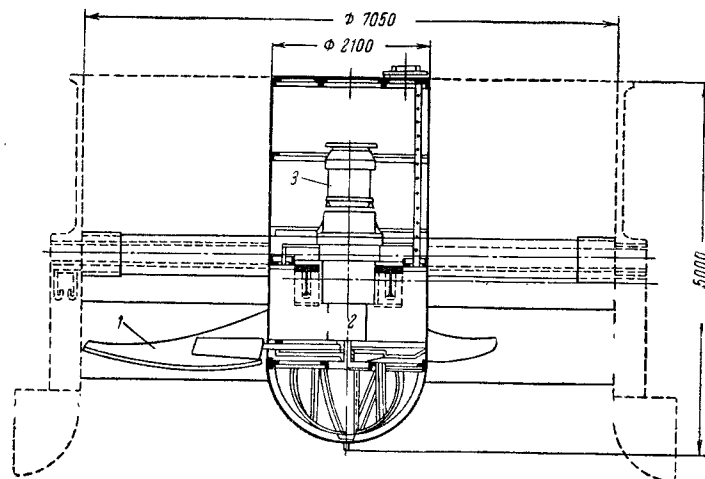


Рис. 62. Вентилятор типа ВГ-70:
1—вентилятор; 2—редуктор; 3—электродвигатель

3. Для градирен большой производительности может применяться вентиляторная установка ВГ-70, разработанная институтом Гипронефтемаш и намеченная к освоению в 1960 г. (рис. 62).

Диаметр вентилятора равен 7000 мм, число оборотов 147 в мин., производительность вентилятора $1,25 \times 10^6$ м³/час при статическом напоре 12 мм вод. ст. и угле установки лопастей 18°.

Электродвигатель вентилятора—вертикальный мощностью 100 кВт—устанавливается в закрытой камере, расположенной в пределах втулки вентилятора. Характеристика вентилятора приведена на рис. 63.

Смазка вентиляторов ВГ-70 осуществляется смазочным агрегатом, обслуживающим до 10 вентиляторов, устанавливаемым в помещении вблизи градирни.

Пример конструкции вентиляторной градирни с нагнетательными вентиляторами приведен на рис. 64. Конструкция градирни с отсасывающими вентиляторами и с поперечным движением воздуха в оросителе приведена на рис. 65.

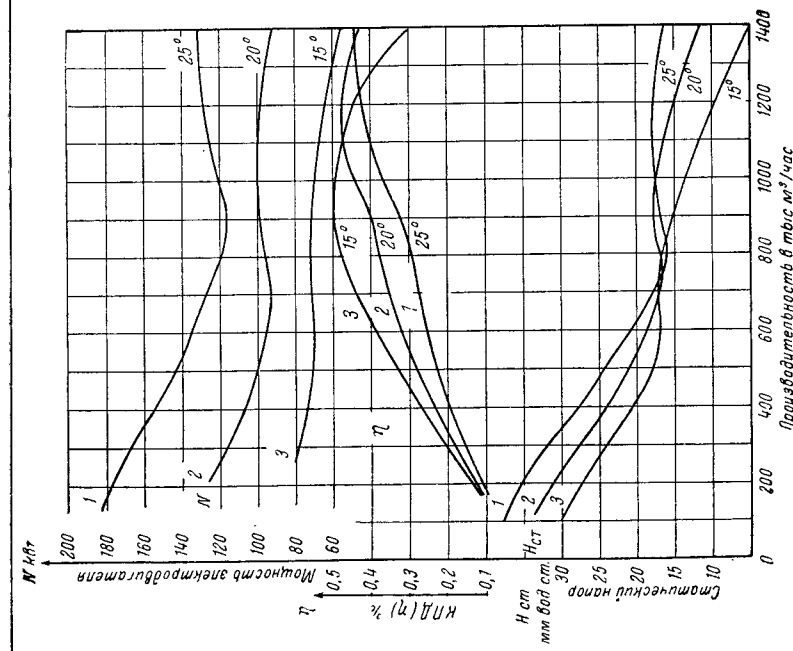


Рис. 63. Характеристика вентилятора ВГ-70:
1—угол установки лопастей 25°, 2—то же, 20°, 3—то же, 15°

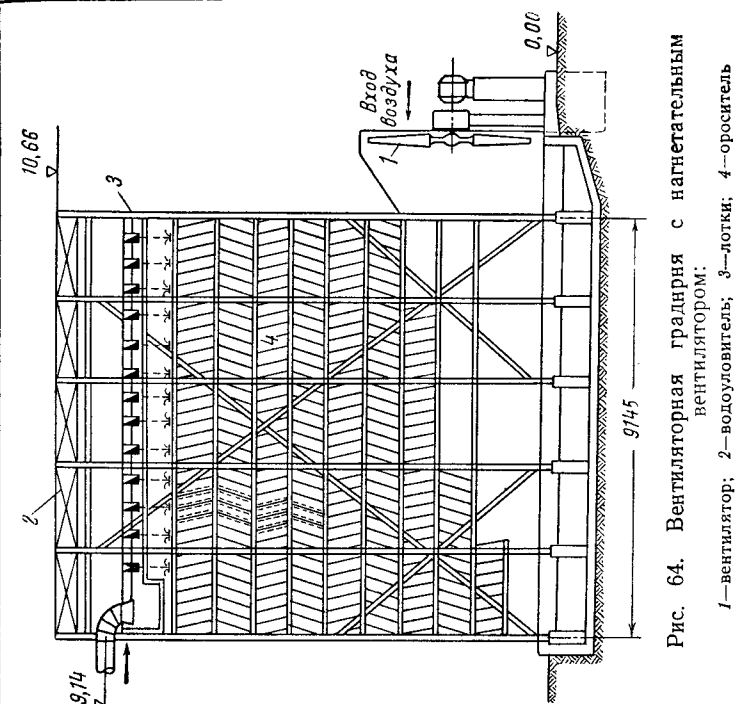


Рис. 64. Вентиляторная градирня с нагнетательным вентилятором:
1—вентилятор; 2—водоуловитель; 3—лотки; 4—ороситель

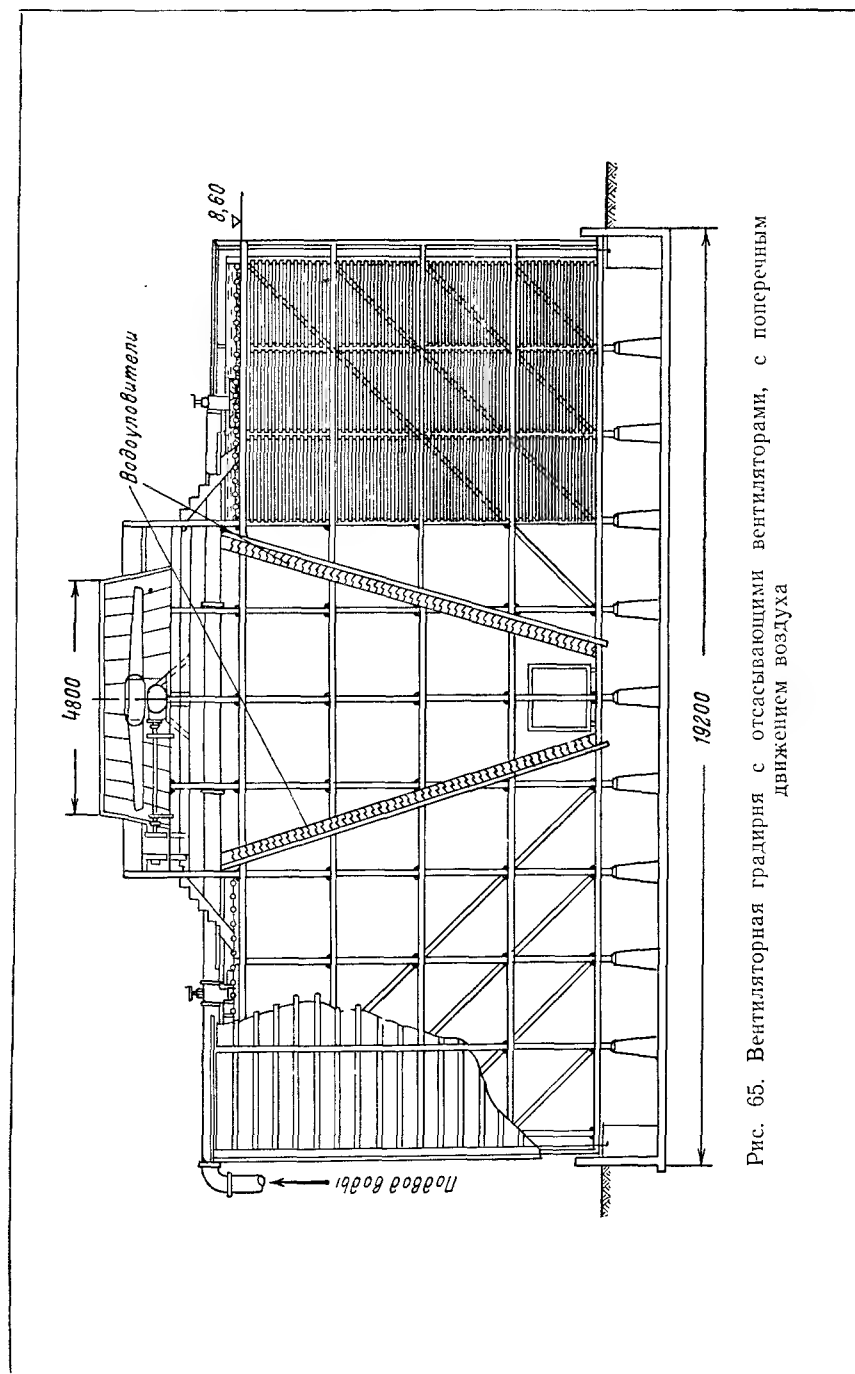


Рис. 65. Вентиляторная градирня с отсасывающими вентиляторами, с поперечным движением воздуха

Вентиляторные градирни с поперечным движением воздуха подвержены интенсивному обмерзанию на входе воздуха, поэтому в наших условиях более распространены градирни с противоточным движением воздуха.

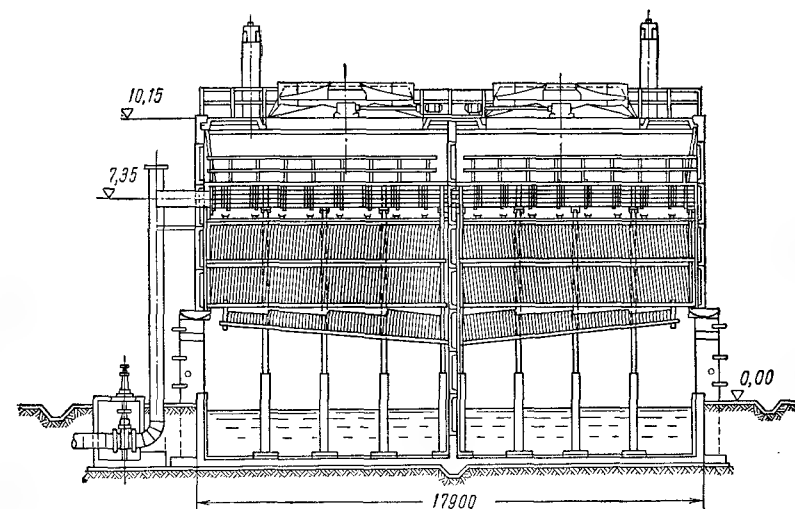


Рис. 66. Вентиляторная градирня с отсасывающими вентиляторами, с противоточным движением воздуха

Пример секционной вентиляторной градирни с отсасывающими вентиляторами ВГ-47 с противоточным движением воздуха приведен на рис. 66.

Оросительное устройство этой градирни — пленочного типа. Площадь орошения каждой секции — 70 м^2 .

§ 8. Материалы для оросительных водораспределительных устройств

Для оросительных устройств градирен требуется большое количество высокосортной древесины. Потребное количество лесоматериалов для оросительного устройства составляет на 1 м^2 площади оросителя (в деле): при пленочном оросителе $0,8 \text{ м}^3$, при капельно-пленочном оросителе $0,6 \text{ м}^3$, при капельном оросителе $0,5 \text{ м}^3$.

Таким образом, для оросительного устройства одной башенной пленочной градирни площадью орошения 1600 м^2 требуется около 1300 м^3 дерева в деле. Лесоматериалы для оросителя обычно применяются без пропитки.

Неблагоприятные условия работы дерева в условиях оросителя, смываемого постоянно теплой водой, значительно сокращают срок службы деревянных конструкций и требуют частых его ремонтов.

Износ древесины градирен зависит от породы и качества лесоматериалов, химического состава циркуляционной воды, способа ее обработки и температуры воды.

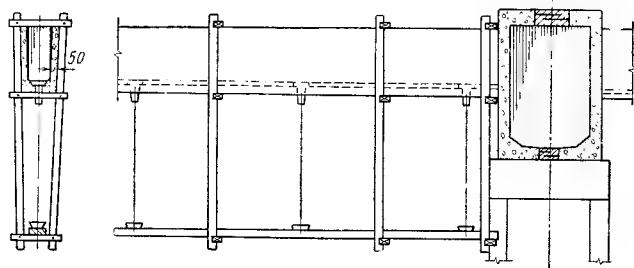


Рис. 67. Лоток из сборного железобетона

На основании обследования большого количества градирен установлено, что срок службы деревянных конструкций в среднем составляет:

реек капельного оросителя	10—12 лет
досок щитов пленочного оросителя	5—8 .
каркаса оросителя	15—20 .
каркаса и обшивки башен	20—25 .

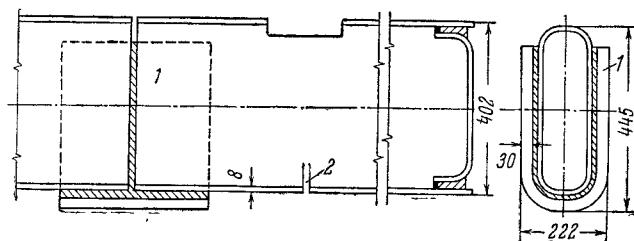


Рис. 68. Лоток из асбестоцемента:

1—муфта для соединения звеньев; 2—отверстия для установки гидравлических насадок

Из приведенных данных видно, что наименьший срок службы имеют пленочные щиты оросителя, изготавливаемые из тонких досок толщиной 8 мм. Для увеличения срока службы щитов требуется применять доски толщиной не менее 10 мм с их антисептированием.

Наиболее целесообразной является пропитка лесоматериалов оросителя солевыми антисептиками, образующими внутри древесины нерастворимые, а поэтому невымываемые соединения. К ним относятся, например, медно-хромовые, медно-мышьяковые и медно-хромово-мышьяковые антисептики.

Пропитка древесины осуществляется на заводах автоклавным способом или в случае пропитки на площадке строительства — способом горяче-холодных ванн. Наиболее тонкие элементы, к которым относятся щиты пленочного оросителя, могут антисептироваться путем их вымачивания в растворе антисептика.

Применение маслянистых антисептиков (креозотовое и антраценовое масла) менее желательно из-за возможности вымыва их теплой водой и загрязнения ими воды.

Поэтому при использовании маслянистых антисептиков может потребоваться периодическая промывка системы, особенно в начальный период эксплуатации градири.

Замена дерева в градириях более долговечными материалами имеет большое практическое значение. В последнее время разработаны конструкции оросителей градирен с несущим каркасом из сборных железобетонных элементов.

Водораспределительные лотки градирен могут выполняться из сборного железобетона (рис. 67), а также из асбестоцемента (рис. 68).

В качестве материалов для щитов оросителя могут быть использованы асбестоцемент или пластические материалы.

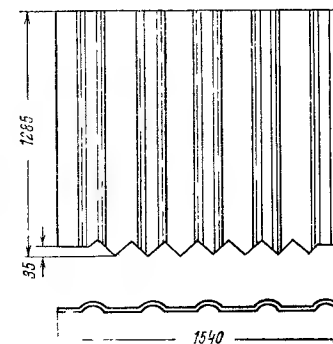


Рис. 69. Полуволнистый асбестоцементный щит

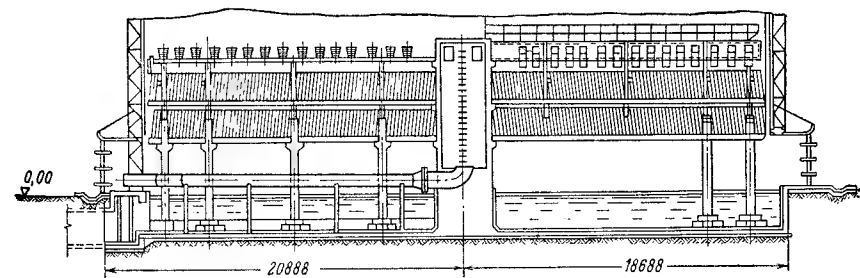


Рис. 70. Разрез оросителя с каркасом и лотками из сборного железобетона

Конструкция щитов оросителя из асбестоцементных полуволнистых листов приведена на рис. 69. Разрез оросителя градири с каркасом и лотками из сборного железобетона и щитами из асбестоцементных листов показан на рис. 70.

Подобные конструкции оросителя дороже выполненных из дерева, однако увеличение их стоимости окупается более длительным сроком их службы и меньшим расходом на ремонты.

§ 9. Мероприятия по борьбе с обмерзанием градирен

Обмерзание градирен значительно усложняет их эксплуатацию и может привести к обрушению оросителя под влиянием дополнительных нагрузок от льда.

Основным очагом обмерзания обычно являются наружные конструкции, где поступающий холодный воздух соприкасается с относительно небольшими объемами охлаждаемой воды (рис. 71).



Рис. 71. Обмерзание входных окон градирни

Для уменьшения обмерзания входных окон наружный ряд стоек оросителя устанавливается на 1—1,5 м от края бассейна, где они хорошо омываются теплой водой. По периметру градирни устанавливается водосборный желоб, отводящий стекающую с внутренней стороны обшивки воду в бассейн градирни. Для устранения наледей на наружной стороне обшивки последняя должна быть достаточно плотной и не пропускать воду.

Основные мероприятия по борьбе с обмерзанием градирен сводятся к уменьшению расхода воздуха, поступающего в градирню, и к обеспечению достаточной плотности орошения на периферийной части градирни, которая не должна быть менее:

для башенных капельных градирен	3 м ³ /м ² час
„ „ пленочных „	4—5 „

При снижении гидравлической нагрузки в зимний период для повышения плотности орошения необходимо предусматривать или выключение из работы отдельных градирен или цент-

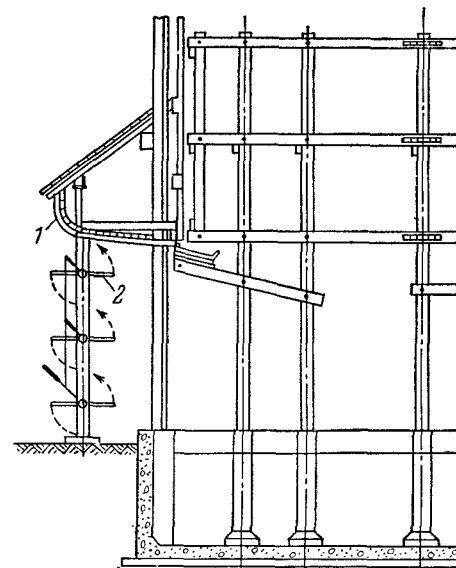


Рис. 72. Козырек и поворотные щиты на окнах
1—козырек; 2—щиты

ральной части оросителя, сосредоточивая всю гидравлическую нагрузку на периферийной части, подверженной непосредственному воздействию входящего в градирню холодного воздуха.

Для уменьшения расхода воздуха, поступающего в башенные градирни, устанавливаются щиты на входных окнах. Щиты для удобства маневрирования устраиваются поворотными или плоскими, поднимаемыми в пазах с помощью лебедок.

Для устранения попадания воды и обмерзания щиты выносятся наружу и располагаются под воздухом направляющим козырьком (рис. 72).

При поддержании с помощью щитов в зимний период температуры охлажденной воды в пределах 10—12° ороситель подвер-

гается незначительному обмерзанию, не затрудняющему эксплуатацию.

Перечисленные выше мероприятия вполне достаточны для башенных пленочных градирен с противоточным движением воздуха, менее подверженных обмерзанию, чем капельные. Для



Рис. 73. Брызгальная установка для борьбы с обмерзанием градирни

борьбы с обмерзанием капельных градирен иногда применяют брызгальные установки по периметру градирни, подключенные к ее напорным трубопроводам. Установки работают периодически, смывая наледи, образующиеся на входных окнах (рис. 73).

Для предотвращения интенсивного обледенения секционных вентиляторных градирен производится выключение вентиляторов. Однако температура охлажденной воды при этом может

значительно повышаться. Запуск отдельных вентиляторов приводит к обмерзанию секций, в которых работают вентиляторы. Поэтому целесообразно устанавливать двухскоростные электродвигатели, обеспечивающие возможность работы вентиляторов в зимний период с пониженной производительностью.

В практике эксплуатации вентиляторных градирен применяется также периодический кратковременный запуск вентиляторов на обратное вращение, при этом создается обратный ток

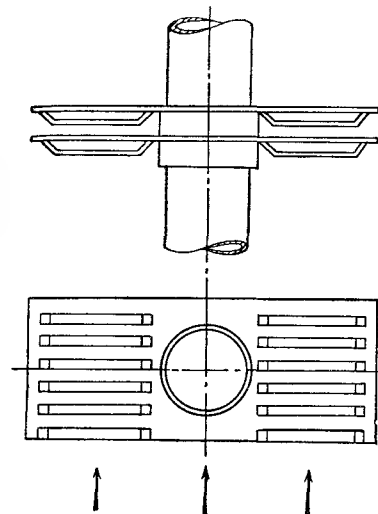


Рис. 74. Радиаторы из труб с ребрами

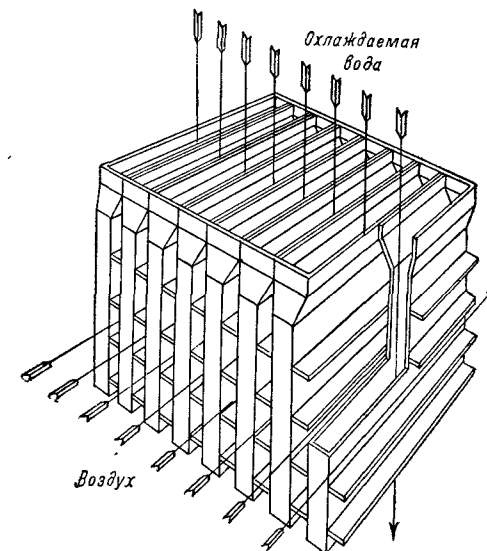


Рис. 75. Пластиновый радиатор

теплого воздуха, под влиянием которого наледи на входных окнах градирни оттаивают.

В связи с большими скоростями входящего воздуха плотность орошения в вентиляторных градирнях в зимнее время целесообразно поддерживать не менее $6 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{час}$.

§ 10. Радиаторные градирни

Радиаторные градирни обычно применяются с искусственной тягой воздуха (с вентиляторами), но могут иметь и естественную тягу воздуха, создаваемую башней. Основным элементом градирни являются радиаторы, обеспечивающие необходимую поверхность охлаждения.

Радиаторы выполняются из гладких или ребристых труб (рис. 74) или пластинчатой конструкции, имеющей сильно раз-

витую поверхность охлаждения при минимальном воздушном сопротивлении (рис. 75).

В качестве материалов для радиаторов применяется главным образом сталь или алюминий.

Вследствие относительно низких значений коэффициента теплопередачи от воды к воздуху через стенки радиаторов, по-

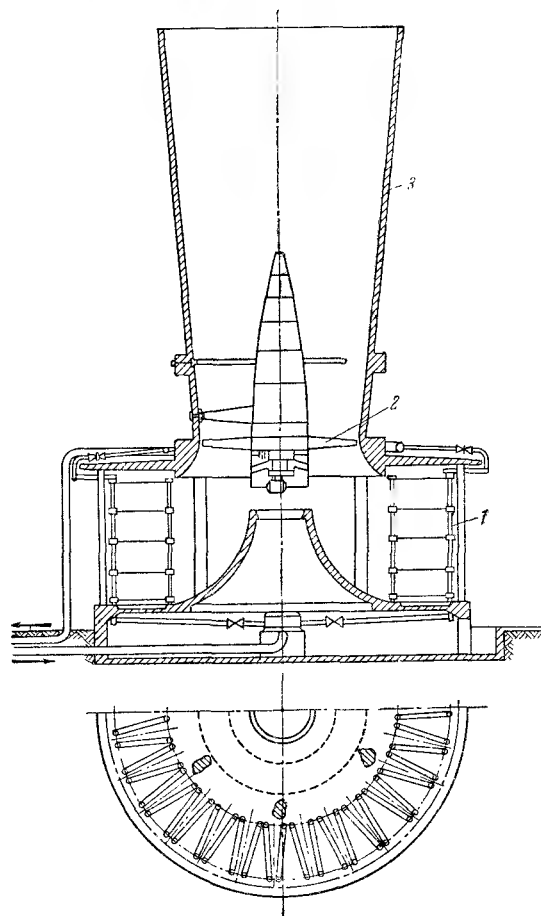


Рис. 76. Радиаторная градирня:
1—радиаторы; 2—вентилятор; 3—диффузор

следние должны иметь развитую поверхность охлаждения, требующую значительной затраты металла.

Малая теплоемкость воздуха требует осуществления циркуляции через радиаторы больших количеств воздуха, для чего обычно устанавливаются вентиляторы большой производительности.

Расчет радиаторных градирен заключается в определении поверхности охлаждения радиаторов для заданных параметров охлаждаемой воды и наружного воздуха и необходимого расхода воздуха.

Поверхность охлаждения радиаторов F_p определяется из уравнения:

$$F_p = \frac{Q \Delta t}{\alpha (t - T)_{\text{ср}}}, \quad (39)$$

где

Q — расход охлаждаемой воды;

Δt — температурный перепад, т. е. разность температур входящей и выходящей из радиаторов воды;

$(t - T)_{\text{ср}}$ — средняя разность температур воды и воздуха на входе и выходе из радиаторов;

α — коэффициент теплопередачи, т. е. количество тепла, передаваемое от воды к воздуху через 1 м^2 поверхности радиаторов, отнесенное к 1° средней разности температур охлаждаемой воды и воздуха.

Коэффициент теплопередачи зависит от скорости воды и скорости воздуха в живом сечении радиаторов, а также материала и конструкции радиаторов и определяется экспериментальным путем.

Необходимое весовое количество воздуха, на которое должны быть рассчитаны вентиляторы, определяется по уравнению:

$$L = F_v v_{\text{ср}} \gamma_{\text{ср}}, \quad (40)$$

где

L — весовой расход воздуха;

F_v — площадь живого сечения радиаторов;

$v_{\text{ср}}$ — средняя скорость воздуха в живом сечении радиаторов;

$\gamma_{\text{ср}}$ — средний объемный вес воздуха до и после радиаторов.

Расход воздуха, определенный по уравнению 40, должен также удовлетворять уравнению:

$$L = \frac{Q \Delta t}{c (T_2 - T_1)}, \quad (41)$$

где

c — теплоемкость воздуха, которая может быть принята постоянной и равной $0,25 \text{ ккал/кг} \cdot \text{град}$;

$T_2 - T_1$ — разность температур нагретого и поступающего к радиаторам воздуха.

Необходимый напор вентилятора определяется аэродинамическим сопротивлением градирни, которое равно сумме сопротивлений на вход воздуха, сопротивления радиаторов и сопротивлений на выход воздуха.

Примером подобного охладителя может служить радиаторная градирня конденсационной установки системы Геллера, осуществленная в 1956 г. на одной из электростанций в Венгерской Народной Республике (рис. 76) и представляющая собой систему радиаторов, выполненных из алюминиевых ребристых труб, над которыми установлен осевой вентилятор отсасывающего действия.

Стоимость радиаторных охладителей в связи со значительным расходом металла выше стоимости обычных градирен.

ГЛАВА V

ПОТЕРИ ВОДЫ В ОХЛАДИТЕЛЯХ

Расход свежей воды, забираемой из источника водоснабжения для промышленного предприятия, складывается из безвозвратных потерь воды в технологическом процессе, в том числе воды, которая загрязняется и должна быть сброшена в канализацию, и потерь в охладителях оборотной воды.

Потери воды в охладителях происходят за счет:

- а) испарения;
- б) уноса ветром из градирен и брызгальных устройств;
- в) фильтрации;
- г) расхода на продувку оборотных систем в целях стабилизации солевого состава воды.

Потери воды на испарение в градирнях и брызгальных устройствах по сезонам года могут приниматься по данным НИТУ 126-55, приведенным в табл. 18. Потери указаны в процентах от циркуляционного расхода воды.

Таблица 18

Потери воды на испарение в градирнях и брызгальных устройствах

Сезон	Перепад температур в град.				
	5	10	15	20	25
Лето	0,7	1,4	2,2	2,9	3,6
Весна и осень	0,5	1	1,5	2	2,5
Зима	0,3	0,7	1	1,4	1,7

Примечание. Для промежуточных значений перепадов температур величина испарения определяется интерполяцией.

Приведенные нормативные данные НИТУ 126-55 относятся к условиям средней полосы СССР, в них не учитываются климатические особенности районов расположения охладителей, что может привести к занижению потерь воды на испарение для южных и завышению для северных районов.

При учете климатических особенностей района расположения охладителя величина потерь воды на испарение в брызгальных бассейнах и градирнях может быть определена из уравнения:

$$q = K \Delta t, \quad (42)$$

где q — количество испарившейся воды в % от циркуляционного расхода воды;

K — коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи испарением в общей отдаче тепла с водной поверхности;

Δt — перепад температуры.

Значения коэффициента K определяются по графику (рис. 77) в зависимости от температуры воздуха.

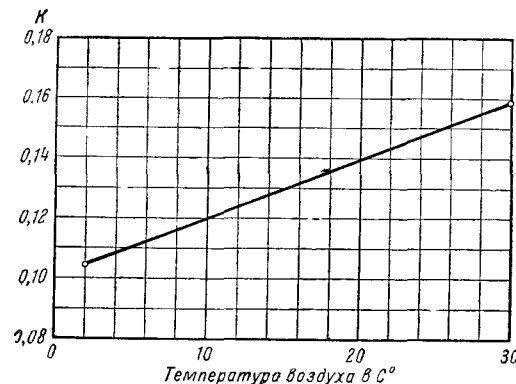


Рис. 77. График для определения испарения в брызгальных бассейнах и градирнях

Расчет потерь воды на испарение из охлаждающих прудов рекомендуется производить раздельно: а) на естественное испарение, исчисляемое со всей площади зеркала пруда; б) на дополнительное испарение, связанное с подогревом воды в пруде поступающим в него циркуляционным расходом, исчисляемое с площади, участвующей в охлаждении потока, т. е. с площади активной зоны пруда.

Высота слоя испарившейся воды за счет естественного испарения может быть подсчитана по формуле:

$$h_e = 0,39 (1 + 0,135 W_{200}) (e'_m - e) \text{ мм/сутки}, \quad (43)$$

где h_e — высота слоя испарившейся воды в мм/сутки;

e'_m — максимальная упругость водяных паров в мм, определяемая по табл. 40;

e — абсолютная влажность воздуха в мм;

W_{200} — скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью воды.

Расчетная скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью

воды может быть приближенно принята равной 0,7 скорости ветра, наблюдаемой на высоте флюгера.

Объем испарившейся воды за счет естественного испарения составляет:

$$E_e = h_e \Omega_{\text{общ}}, \quad (44)$$

где $\Omega_{\text{общ}}$ — полная площадь зеркала пруда-охладителя в м^2 .

Высота слоя испарившейся воды за счет дополнительного испарения с площади активной зоны пруда-охладителя рассчитывается по уравнению:

$$h_d = 0,39 (1 + 0,135 W_{200}) \cdot \Delta e_m \text{ мм/сутки}, \quad (45)$$

где h_d — высота слоя испарившейся воды за счет дополнительного испарения в мм/сутки;

Δe_m — разность между максимальной упругостью водяных паров, соответствующей средней температуре активной зоны пруда, определяемой в результате теплового расчета пруда, и максимальной упругостью водяных паров, соответствующей естественной температуре воды.

Объем испарившейся воды за счет дополнительного испарения будет равен:

$$E_{\text{доп}} = h_{\text{доп}} \Omega_{\text{акт}}, \quad (46)$$

Общий объем испарившейся воды с площади пруда-охладителя будет равен:

$$E = h_e \Omega_{\text{общ}} + h_{\text{доп}} \Omega_{\text{акт}}, \quad (47)$$

где $\Omega_{\text{акт}}$ — площадь активной зоны пруда в м^2 .

Ориентировочно потери воды на дополнительное испарение в прудах-охладителях могут определяться по данным, приведенным в табл. 19, составленной по НИТУ 126-55. Здесь потери указаны в процентах от циркуляционного расхода воды.

Таблица 19

Потери воды на дополнительное испарение в прудах-охладителях

Сезон	Перепад температур в град.				
	5	10	15	20	25
Лето	0,5	0,9	1,4	1,9	2,3
Весна и осень	0,3	0,7	1,0	1,4	1,7
Зима	0,2	0,4	0,7	0,9	1,1

Примечание. Для промежуточных значений перепадов температур величина дополнительного испарения определяется интерполяцией.

Потери воды на унос ветром из брызгальных устройств и градирен (в процентах от циркуляционного расхода воды) принимаются по табл. 20.

Таблица 20

Потери воды на унос ветром из брызгальных устройств и градирен

Типы охладителей	Потери воды на унос ветром в %
Брызгальные бассейны и устройства производительностью до 500 м ³ /час	2—3
Брызгальные бассейны и устройства производительностью свыше 500 м ³ /час	1,5—2
Открытые и брызгальные градирни с обычными жалюзи	1—1,5
Открытые градирни с вертикальными воздухопроницаемыми жалюзи	0,5—1
Башенные градирни (капельные и пленочные) площадью орошения менее 200 м ²	1,0
То же, более 200 м ²	0,5
Вентиляторные градирни (при наличии водоуловителей)	0,3—0,5

Потерями на фильтрацию в брызгальных бассейнах и градирнях в связи с их небольшой величиной обычно пренебрегают.

Потери на фильтрацию из прудов-охладителей определяются расчетом в зависимости от геологических условий.

Потери воды на продувку градирен и брызгальных бассейнов определяются в зависимости от качества циркуляционной воды и способа ее химической обработки.

ГЛАВА VI

ТИПОВЫЕ ПРОЕКТЫ ОХЛАДИТЕЛЕЙ. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

§ 1. Пруды-охладители и брызгальные бассейны

Пруды-охладители, для организации которых используются естественные или искусственные водоемы, не могут иметь типовых решений.

Различие местных условий промышленных площадок, производительности, геологических характеристик, разнообразие имеющихся строительных материалов обусловили нецелесообразность разработки типовых проектов брызгальных бассейнов. Унифицированы лишь отдельные детали оборудования и решения элементов строительной части бассейнов.

Разнообразие возможных решений и специфические местные условия строительства затрудняют также технико-экономический анализ стоимости строительства прудов и бассейнов.

Ориентировочно затраты на сооружение прудов могут составлять 200—300 руб. на 1 м³/час расхода охлаждаемой воды.

Для брызгальных бассейнов можно пользоваться следующими средними данными их строительной стоимости.

Стоимость 1 м² брызгального бассейна с одеждой из обычно применяемых бетонных плит, отнесенная к его общей площади, составляет примерно 130—140 руб., а отнесенная к единице расхода — 1 м³/час охлажденной воды — 110—130 руб. для больших, 140—160 руб. для средних и 220—300 руб. и более для малых брызгальных бассейнов.

§ 2. Градирни

В области типизации различного вида градирен проделана значительная работа.

Градирни малой производительности, в том числе и открытого типа, были разработаны институтом Гипротис и приведены в сборнике «Малые градирни». Здесь можно найти образцы некоторых открытых брызгальных капельных градирен (рис. 78, 79, 80).

Открытые брызгальные градири Гипротис

Таблица 21

Средняя производи- тельность в м³/час	Нагрузка на 1 м² ороси- теля в м³/час	Площадь оросителя в м²	Ширина в мм	Длина в мм	Тип градирен	Расход материалов (на градирию)		
						лесоматери- алы в м³	металл в т	бетон в м³
5,5	1,85—2,52	2,56	1 600	1 600	Односекционная	1,9	0,08	1,5
11,0	1,64—2,31	5,76	2 400	2 400	"	2,6	0,11	1,5
11,5	1,52—2,15	6,25	2 500	2 500	Многосекционная	4,9	0,18	2,7
17,0	1,28—1,81	9,00	3 000	3 000	"	6,6	0,22	4,5
23,0	1,57—2,20	12,00	4 000	3 000	"	8,1	0,28	4,5
28,5	1,48—2,08	16,00	4 000	4 000	"	9,7	0,34	4,5

Открытые капельные градири Гипротис

Таблица 22

Средняя производи- тельность м³/час	Площадь оросителя в м²	Ширина в мм	Длина в мм	Число ярусов	Конструкции жалюзи	Расход материалов (на градирию)		
						лесоматери- алы в м³	металл в т	бетон в м³
4,9	2,35	1 500	1 500	6	Наклонные щиты	4,2	0,4	2,4
8,7	4,00	2 000	2 000	6	"	5,7	0,5	3,4
23,6	9,00	3 000	3 000	6	"	14,4	1,1	6,8
44,0	16,00	4 000	4 000	6	"	23,3	1,5	9,7
48,0	16,00	4 000	4 000	8	Вертикальные возду- хопроницаемые щиты	19,0	1,7	11,5
52,0	16,00	4 000	4 000	11	То же	23,9	1,8	11,5

Открытые капельные градири

Таблица 23

Средняя производи- тельность в м³/час	Площадь оросителя в м²	Ширина в мм	Длина в мм	Расход материалов (на градирию)			Примечание
				лесома- териалы в м³	металл в т	бетон в м³	
48	16	7 200	7 200	19,1	0,37	—	Проекты института Мосмолпроект
72	24	7 200	11 200	24,1	0,40	—	
96	32	7 200	11 200	29,1	0,57	—	
120	40	7 200	13 200	34,4	0,66	—	
144	48	7 200	15 200	39,6	0,75	—	
168	56	7 200	17 200	44,6	0,85	—	
192	64	7 200	19 200	50,1	0,95	—	
300	96	—	—	69,0	1,00	25	Проекты института Промэнергопроект
350	112	—	—	90,0	1,80	29	
600	192	—	—	150,0	2,10	46	

В табл. 21 приведены подробные данные об открытых брызгальных градириях, разработанных институтом Гипротис. В табл. 22 перечислены данные, касающиеся открытых капельных градирих этой же проектной организации.

Проекты открытых капельных градирих большей производительности составлены б. трестом Центроэнергомонтаж для площадей орошения 96, 112 и 192 м².

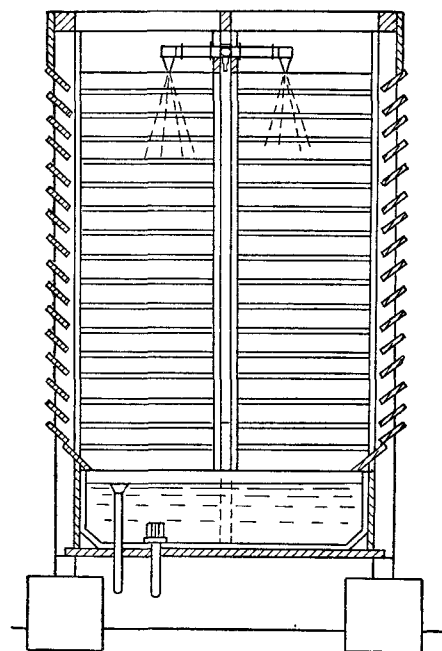


Рис. 78. Открытая брызгальная градирия

В последние годы Промэнергопроект выпустил рабочие чертежи открытой капельной градири площадью орошения 240 м².

Стоимость 1 м² площади оросителя открытых брызгальных градирих в зависимости от их размеров ориентировочно оценивается в 500—1200 руб.

Табл. 23 дает представление о расходе основных строительных материалов для сооружения открытых капельных градирих конструкции институтов Мосмолпроект и Промэнергопроект.

Башенные градирих малых размеров разрабатывались институтом Гипротис.

В 1947 г. были выпущены рабочие проекты следующих типов и размеров (табл. 24).

Таблица 24

Башенные градирих Гипротис

Площадь оросителя в м ²	Размер градирих в м	Нагрузка в м ³ /м ²	Тип градирих	Расход материалов		
				лесоматериалы в м ³	металл в т	бетон в м ³
6,25	3,20×3,20	1,7	Капельного типа	17,4	1,37	6,7
14,00	4,45×4,45	1,7	То же	23,0	1,97	11,9
25,00	5,70×5,70	1,7	" "	32,0	2,82	18,6
25,00	5,60×5,60	1,7	" "	34,6	3,80	25,9
39,00	7,05×7,05	1,7	" "	46,3	3,95	25,8
39,00	6,25×6,85	1,7	" "	48,1	4,64	31,7
56,00	8,10×8,10	1,7	" "	61,4	5,63	39,4

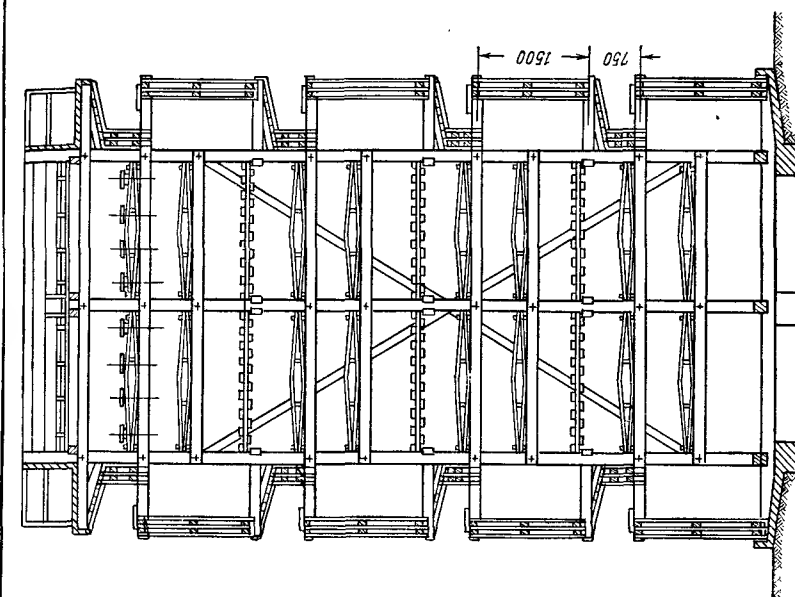


Рис. 80. Открытая капельная градирия с ограждением из вертикальных щитов

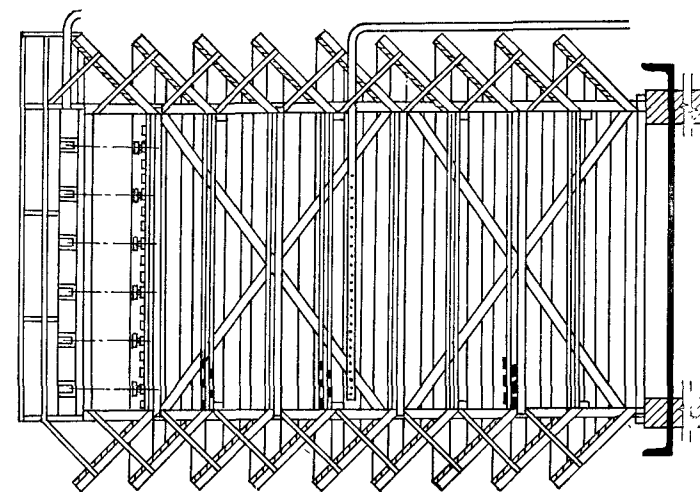


Рис. 79. Открытая капельная градирия с ограждением из наклонных щитов

В 1953 г. Гипротис выпустил новую серию типовых проектов башенных градирен с оросителем капельного типа и лотковой распределительной системой. Серия включает несколько типовых проектов, данные о них приведены в табл. 25.

Таблица 25

Башенные капельные градири конструкции института Гипротис						
Площадь орошения в м ²	Размер в плане в м	Нагрузка на 1 м ² орошения в м ³ /час	Производительность в м ³ /час	Серия проекта	Расход материалов	
					асбесто-решетки в м ²	металл в т
40	7,05×7,05	1-3,4	40-136	8-03-Р ₁	39,25	1,28
25	5,70×5,70	1-3,4	25-85	8-03-Р ₂	31,00	1,06
15	4,45×4,45	1-3,4	15-51	8-03-Р ₂	21,40	0,73

Три типовых проекта, данные по которым перечислены в табл. 25, включены в перечень типовых проектов (ТП-7) 1958 г., обязательных для применения в проектировании и строительстве.

Башенные градири со средними и большими площадями оросителей разрабатывались преимущественно институтами Промэнергoproject и Теплоэлектрoproject.

Из типовых проектов градирен, разработанных институтом Промэнергoproject в последние годы (табл. 26), могут быть рекомендованы к применению те из них, которые включены в перечень типовых проектов (ТП-7) 1958 г.

В настоящее время разработка типовых проектов башенных градирен средней и большой производительности сосредоточена в институте Теплоэлектрoproject.

Усовершенствовав ранее выпущенные типовые проекты, Теплоэлектрoproject оставил в списке проектов, рекомендуемых для применения в 1958 г., типы градирен, перечисленные в табл. 27.

В 1958-1959 гг. институт Теплоэлектрoproject разработал серию типовых башенных градирен, состоящую из градирен четырех размеров, площадь орошения 725, 980, 1 280 и 1 610 м². Эти проекты предусматривают применение сборного железобетона.

Градири этой серии имеют башню со стальным каркасом и обшивкой асбестоцементными волнистыми листами. Каркас оросительного устройства запроектирован из сборных железобетонных элементов, допускающих возможность установки как асбестоцементных, так и деревянных штов на условии их взаимозаменяемости; лотки градири приняты из сборного железобетона.

В указанных градирих удалось свести к минимуму применение древесины, быстрый износ которой в условиях градирен часто

Таблица 26

Башенные градири конструкции института Промэнергoproject

Площадь орошения в м ²	Конструктивные данные				Объемы основных строительных работ			
	башня		оросительное устройство		бетонные работы в м	железобетон в м ³	дерево в м ³	металл в т
	каркас	обшивка	каркас	щиты				

Башенные капельные градири

400	Металлический	Дерево или асбестоцемент	Дерево	Дерево	60	217	227	31,0
500	Дерево	Дерево	"	"	72	239	319	3,0
500 *	Металлический	Дерево или асбестоцемент	"	"	70	236	257	31,0
650 *	"	То же	"	"	87	268	330	33,0
800	"	"	"	"	106	323	372	41,5
1 000	"	"	"	"	138	488	495	65,0
1 200	"	"	"	"	162	508	580	71,6
1 400	"	"	"	"	181	571	661	76,0

Башенные пленочные градири

400 *	Металлический	Асбестоцемент или дерево	Дерево	Дерево	75	270	420	76,0
500 *	"	То же	"	"	85	252	549	89,0
700	"	"	"	"	115	380	635	98,0

Примечание. Проекты градирен, отмеченные *, включены в перечень типовых проектов (ТП-7) 1958 г., обязательных к применению в проектировании и строительстве.

Площадь орошения в м ²	Расчетные условия				Конструктивные данные				Объемы основных строительных работ			
	расход воды при $\Delta t = 8-9^\circ$ в м ³ /м ² час	грунты основания	допускаемое давление на грунт в кг/см ²	расчетное давление ветра в кг/м ²	башня		оросительное устройство		бетон в м ³	железобетон в м ³	дерево в м ³	металл в т
					каркас	обшивка	каркас	щиты				

Башенные пленочные градирни

500	3 000 - 3 500	Непросадочные	1,5	40	Металл	Дерево	Дерево	Дерево	66,4	374,0	566,8	73,7
500	3 000 - 3 500	Просадочные	1,5	40	"	"	"	"	-	591,6	566,8	73,7
500	3 000— 3 500	Непросадочные	1,5	70	"	"	"	"	66,4	393,0	566,8	79,4
800	4 800— 5 600	"	1,5	40	"	"	"	"	102,0	490,0	776,5	96,7
800	4 800 - 5 600	Просадочные	1,5	40	"	"	"	"	0,4	856,8	776,5	96,7
1 000	6 000— 7 000	Непросадочные	1,5	40	"	"	"	"	126,4	593,8	913,6	117,6
1 000	6 000— 7 000	Просадочные	1,5	40	"	"	"	"	118,6	1 035,3	913,6	117,6
1 200	7 200 - 8 400	Непросадочные	1,5	40	"	"	"	"	147,4	665,9	1 071,2	129,6
1 200	7 200— 8 400	Просадочные	1,5	40	"	"	"	"	0,4	1 171,6	1 071,2	129,6
1 200	7 200 - 8 400	Непросадочные	1,5	40	"	Асбоцемент	"	"	147,4	672,7	870,7	161,5
1 600	9 600—11 200	"	1,5	40	"	Дерево	"	"	192,4	824,3	1 365,3	166,6
1 600	9 600—11 200	Просадочные	1,5	40	"	"	"	"	0,4	1 402,9	1 365,3	166,6
1 600	9 600—11 200	Непросадочные	1,5	40	"	Асбоцемент	"	"	200,0	865,5	1 114,9	259,3

Башенные комбинированные градирни (гиперболические)

900	5 900— 6 200	Непросадочные	1,5	40	Железобетон	—	Дерево	Дерево	250	1 340,0	633,0	—
1 520	10 000—10 500	"	1,5	40	То же	—	"	"	400	1 873,2	865,0	—

Примечание. Все приведенные в таблице проекты включены в перестройку и строительство.

чень типовых проектов (ТП-7) 1958 г., обязательных к применению при проектировании и строительстве.

Башенные градирни конструкции института Теплоэлектропроект (1958—1959 гг.)

Площадь оросителя градирни в м ²	Производительность в м ³ /час	Размеры градирни в м		высота	Объем основных работ				асбесто-цемент в м ³	металл в т
		диаметр основания			дерево в м ³	железобетон в м ³				
						монолитный	сборный			
Серия 1Н-453 (с деревянными щитами оросителя)										
725	3 500—5 000	32,1	40,0	343	651	294	2 960 ¹	117		
980	5 000—7 000	37,2	44,8	449	766	422	4 000	152		
1 280	7 000—9 000	42,3	49,5	576	966	488	5 150 ¹	190		
1 610	9 000—11 000	47,4	54,1	708	1 132	629	6 400 ¹	246		
Серия 1И-353 (с асбестоцементными щитами оросителя)										
725	3 500—5 000	32,1	40,0	71	651	294	53 000 ²	117		
980	5 000—7 000	37,2	44,8	89	766	422	71 840 ²	152		
1 280	7 000—9 000	42,3	49,5	97	966	488	95 500 ²	190		
1 610	9 000—11 000	47,4	54,1	114	1 132	629	119 400 ²	246		

¹ Обшивка башни.² Обшивка башни и щиты.

ставит в тяжелое положение эксплуатацию систем водоснабжения.

Типовые рабочие чертежи градирен разработаны для ветровой нагрузки по первому району, для непросадочных грунтов при допустимом давлении на грунт в основании фундаментов башен 2 кг/см^2 .

Основные данные по этим градирням приведены ниже, в табл. 28.

На рис. 81 и 82 изображены разработанные институтом Теплоэлектропроект образцы типовых башенных градирен — пленочной и гиперболической-комбинированной.

Стоимость 1 м² площади орошения башенных градирен, по данным института Теплоэлектропроект, для пленочных градирен колеблется в пределах 1 700—1 300 руб.

Проекты вентиляторных градирен разработаны институтом Гипротис в 1947 г. Были выпущены 10 типовых проектов градирен с оросителями капельного и пленочного типа, оборудованных нагнетательными вентиляторами типа ЦАГИ.

Характеристика этих градирен приводится в табл. 29.

Таблица 29

Вентиляторные градирни конструкции Гипротис (1947 г.)

Площадь оросителя в м ²	Размер градирни в м	Нагрузка в м ³ /м ²	Тип градирни	Расход материалов		
				дерево в м ³	металл в т	бетон в м ³
1,6	1,4×1,4	6,5	Вентиляторный с оросителем капельного типа	4,5	0,50	2,8
3,6	2,5×1,5	6,5		6,6	0,66	3,9
4,2	2,2×2,0	6,5		7,5	0,70	4,2
7,8	4,0×2,0	6,5		10,7	1,01	6,4
12,8	4,6×3,0	6,5		14,7	1,31	8,5
2,3	1,5×1,5	8,5	Вентиляторный с оросителем пленочного типа	5,95	0,39	2,6
2,7	2,0×1,5	8,5		7,15	0,42	2,9
4,0	2,0×2,0	10,0		8,6	0,50	3,4
6,6	3,0×2,2	8,8		12,5	0,70	4,6
9,2	3,2×3,0	8,8		16,6	0,85	5,6

В 1953—1954 гг. и затем в 1957—1958 гг. Гипротис разработал новые типовые проекты более крупных вентиляторных градирен различных производительностей с вытяжными вентиляторами, при этом проекты 1957—1958 гг. (серии 8-44-Р₁, 8-54) предусматривают использование сборных железобетонных унифицированных элементов.

В табл. 30 приводится характеристика проектов вентиляторных градирен, разработанных в последние годы институтом Гипротис Главстройпроекта (рис. 83).

Все эти градирни оборудуются вытяжными вентиляторами (типа 1ВГ-47) завода «Борец» диаметром 4,7 м с редуктором и

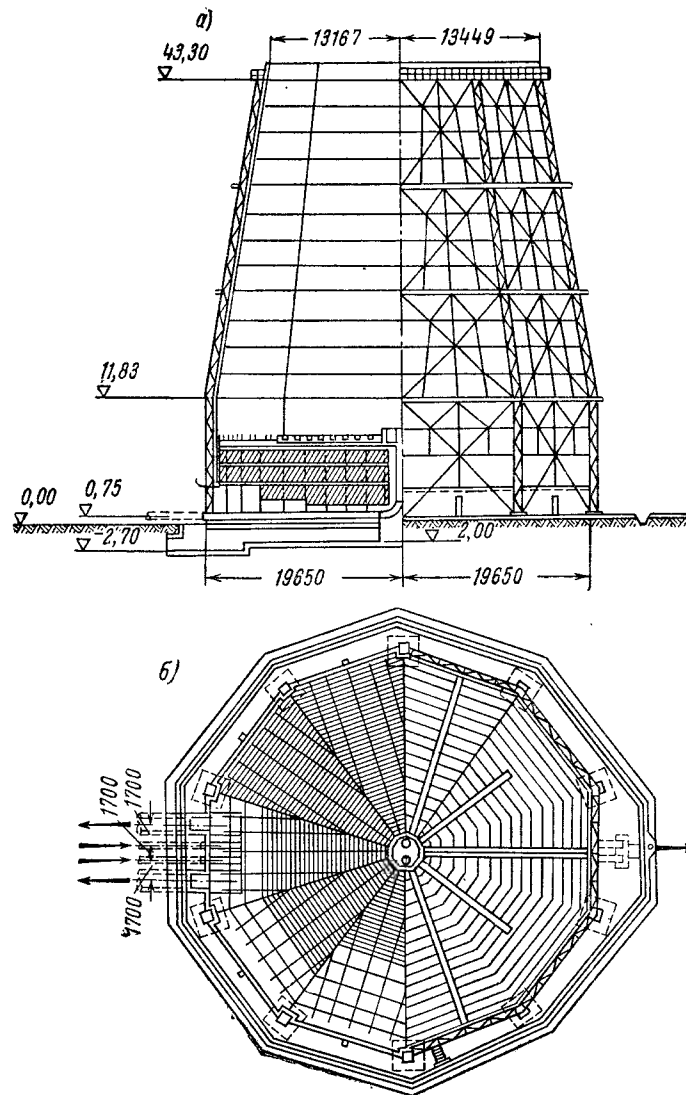


Рис. 81. Башенная градирня конструкции института Тепло-электропроект с оросителем пленочного типа:
а — разрез (фасад); б — план

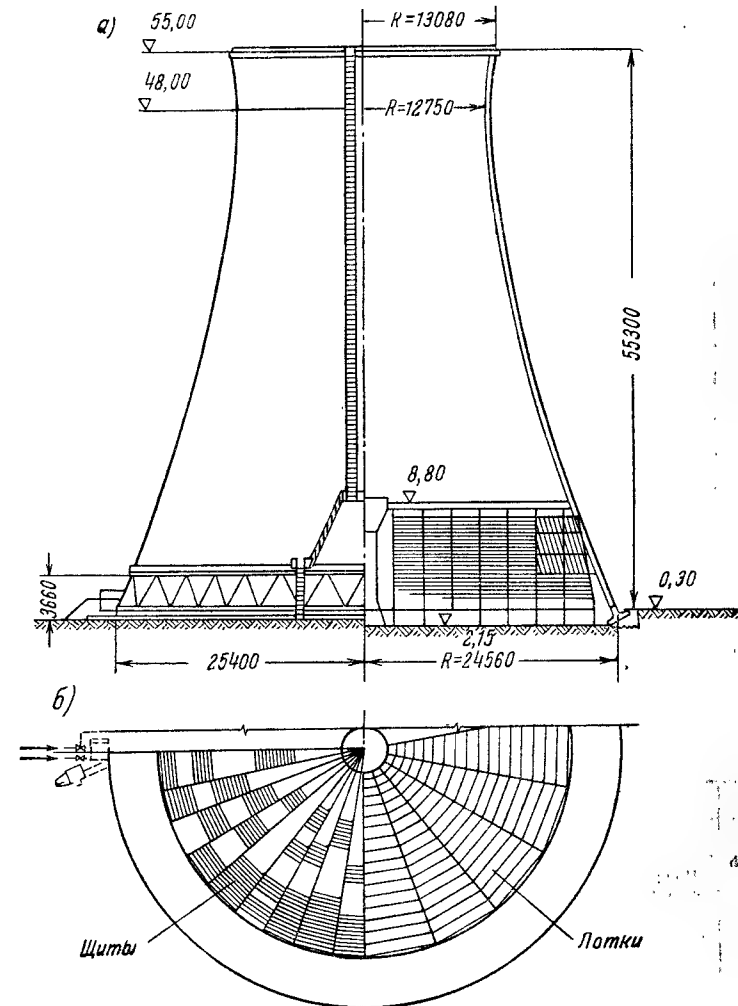


Рис. 82. Гиперболическая градирня конструкции института Теплоэлектропроект с капельно-пленочным оросителем площадью 1520 м²:
а — разрез (фасад); б — план

Таблица 30

Вентиляторные градирни конструкции Гипротис														
Площадь оро- сителя секции в м ²	Число секций	Тип оросителя	Производи- тельность в м ³ /час	Номер проекта	Конст корпус градирни	руктивные данные		Тип вентилятора	Расход основных материалов					
						ороситель			бетон в м ³	железо- бетон	металл в т	дерево в м ³	асбесто- цемент в т	
						каркас	щиты							
64	3	Капельный	576 - 1536	8-02-Р ¹	Дерево	Дерево	Дерево	1ВГ-47	22	53	20,3	121,1	—	
64	1	"	192—512	594	"	"	"	1ВГ-47	7	17	4,8	40,8	—	
16	3	"	144—384	8-03-Р ₄	"	"	"	Ц43-4 ЦАГИ	6	23	7,8	38,3	—	
64	3	Пленочный	1536—3456	8—13	"	"	"	ЦАГИ-5	—	—	17	270,7	—	
64	2	"	1024—2304	8—20	"	"	"	ЦАГИ-5	—	—	11,6	186	—	
64	1	"	730	8—21	"	"	"	ЦАГИ-5	—	—	5,4	96	—	
36	3	"	540—1620	8-18-Р	"	"	"	1ВГ-47	—	—	14	150,4	—	
48	2	Брызгальный	392—784	8—01	"	"	"	1ВГ-47	42,5	30	17,3	54,8	—	
64	5	Капельный	—	8-54-Р ₁ ¹	Железобетон и асбестоцемент	Железобетон	"	1ВГ-47	48	229	40	115,5	—	
64	5	Пленочный	—	8-54-Р ₂ ¹	То же	То же	Дерево или асбестоцемент	1ВГ-47	48	229	42	368	50	
64	5	Брызгальный	—	8-44-Р ¹	" "	" "	—	1ВГ-47	—	282	35	49,2	—	
64	2	"	—	8-54-Р ₃ ¹	" "	" "	Дерево	1ВГ-47	—	40,7	15,2	19	10	
64	2	Капельный	—	8-54-Р ₄ ¹	" "	" "	"	1ВГ-47	—	42,3	17	147	9	
64	2	Пленочный	—	8-54-Р ₅ ¹	" "	" "	Дерево или асбестоцемент	1ВГ-47	—	42,4	15,6	45,5	8	

¹ Проекты градирен включены в перечень типовых проектов (ТП-7) 1958 г., обязательных к применению в проектировании и строительстве.

² Водосборный (железобетонный) резервуар в этих типовых проектах не разработан.

Таблица 31

Вентиляторные градирни конструк							ции института Теплоэлектропроект						
Площадь ороси-теля в м²	Число секций	Расчетные условия				Конст	руктивные данные		Тип вентилятора	Объем основных строительных работ			
		расход воды при среднем Δ t=8—9°	грунты основания	допускаемое давление на грунт в кг/см²	расчетное давление ветра в кг/см²		корпус градирни	оросительное устройство					
								каркас		щиты	бетон в м³	железо-бетон в м³	дерево в м³
420	6	2940—3360	Непроса-дочные	1,5	40	Сборный железо-бетон	Дерево	Дерево	1ВГ-47	66	596	244	28
560	8	3920 4480	То же	1,5	40	То же	„	„	1ВГ-47	78	740	338	34
700	10	4900—5600	„ „	1,5	40	„ „	„	„	1ВГ-47	96	915	424	42

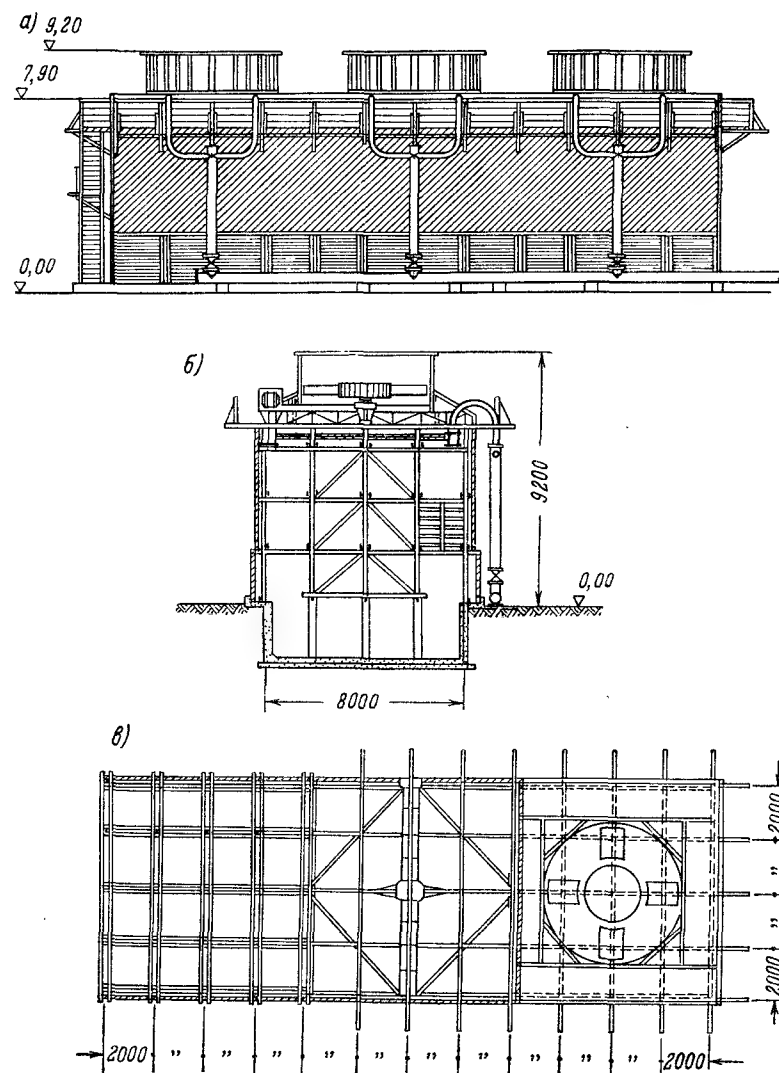


Рис. 83. Градирия конструкции Гипротис с вытяжными вентиляторами:
а—фасад; б—разрез; в—план

двухскоростным электродвигателем 1500/750 об/мин мощностью по 28/20 кВт (рис. 72) или осевыми, четырехлопастными вентиляторами ЦАГИ (диаметром 5 м с редуктором и электродвигателем мощностью 55 кВт и 1470 об/мин).

Для градирии площадью орошения 16 м² применен осевой четырехлопастный вентилятор ЦАГИ, диаметром 2,2 м на одной оси с двухскоростным электромотором 500/1000 об/мин.

Типовые проекты вентиляторных градирий большей производительности разработаны ленинградским отделением института Теплоэлектропроект в 1955—1956 гг. Перечень их приводится в табл. 31.

Стоимость строительства 1 м² оросителя вентиляторных многосекционных градирий современной конструкции составляет около 2000 руб.

При технико-экономических расчетах, связанных с выбором системы водоснабжения производственных предприятий, а также выбором типа охладителя, имеет значение величина эксплуатационных расходов. Определение этих расходов для градирий может производиться на основании норм, составленных институтом Теплоэлектропроект.

Нормы амортизационных отчислений по элементам конструкций градирий установлены с учетом результатов натурных обследований.

Таблица 32

Нормы амортизационных отчислений для градирий

Конструктивные элементы	Срок службы в годах	Норма амортизации в % от стоимости
Железобетонные конструкции:		
бассейн, фундаменты, стояк	50	2,4
башня	40	3,8
каркас оросителя, балочная клетка, водораспределительные лотки и пр.	25	6,0
Деревянные конструкции:		
ороситель и водораспределитель пленочных градирий	8	20,0
то же, капельных градирий	12	13,3
обшивка башни, лестницы и пр.	15	9,4
Металлические конструкции:		
каркас башни	25	5,0
трубопроводы в пределах градирий, решетки, сетки и пр.	20	7,5
Асбестоцементные конструкции:		
пленочные щиты и водораспределительные лотки	15	9
обшивка башни	25	5
Оборудование:		
вентиляторы	15	12,0
насадки, тарелочки и пр.	10	10,0

дований большого количества градирен электростанций, проведенных институтом Теплоэлектропроект в 1957 г. Данные по этим нормам приведены в табл. 32.

Эксплуатационные расходы в процентах от стоимости градирен, определенные на основании норм амортизационных отчислений, для типовых градирен Теплоэлектропроекта приводятся ниже в табл. 33.

Таблица 33

Эксплуатационные расходы для градирен

Конструкции градирен	Эксплуатационные расходы (годовые) в % от стоимости градирни
Башенная градирня с металлическим каркасом башни и деревянной обшивкой. Ороситель пленочного типа и лотки из дерева	12
Башенная градирня с металлическим каркасом башни и асбестоцементной обшивкой. Ороситель пленочного типа и лотки из дерева	10
Башенная градирня с металлическим каркасом башни и асбестоцементной обшивкой. Каркас оросителя и лотки из сборного железобетона. Щиты оросителя из асбестоцементных листов	7
Башенная градирня с железобетонной гиперболической башней. Ороситель пленочного типа и лотки из дерева	8
Секционная вентиляционная градирня с корпусом из сборного железобетона с вентиляторами 1ВГ-47. Ороситель пленочного типа и лотки из дерева	9

Эксплуатационные расходы для брызгальных бассейнов могут быть определены, исходя из сметной стоимости элементов конструкций (бассейн, трубопроводы), на основании тех же норм амортизационных отчислений.

ГЛАВА VII

ОБРАБОТКА ВОДЫ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ

§ 1. Общие сведения

При обратном водоснабжении циркулирующая в системе вода подвергается многократному нагреву и охлаждению. Часть воды при этом испаряется в охладителях, повышая концентрацию растворенных в ней солей.

Соли временной жесткости, в основном карбонат кальция (CaCO_3), при нагревании выпадают и образуют слой накипи в трубках теплообменных аппаратов. Вместе с солями на поверхности трубок отлагаются продукты кислородной коррозии, механические взвеси, содержащиеся в воде (ил, песок), и биологические отложения.

Обрастание холодильников и трубопроводов вредно отражается на работе производственных агрегатов, снижает коэффициент теплопередачи теплообменной аппаратуры, ухудшает эксплуатационные показатели оборотной системы водоснабжения, увеличивает необходимый напор для подачи расчетного расхода воды.

От качества циркулирующей в оборотной системе воды зависит, кроме того, срок службы деревянных частей градирен. Наблюдениями за эксплуатацией деревянных градирен установлено, что при высоком значении рН оборотной воды нарушается структура древесины. Находящиеся в воде щелочи вымывают из древесины связывающие вещества (лигнин). Древесина теряет свою прочность. В результате быстро изнашиваются оросительные устройства градирен, омываемых водой, в особенности в тех случаях, когда они изготавливаются из слабых пород дерева (ель) и не обработаны антисептиками.

При проектировании систем промышленного циркуляционного водоснабжения необходимо предусматривать мероприятия, предотвращающие нарушение нормальной работы оборотного водоснабжения из-за обрастания холодильников или частого ремонта градирен.

До настоящего времени не имеется какого-либо единого способа обработки воды, который разрешал бы все эти трудности.

Очистка поступающей в систему свежей воды от механической взвеси осуществляется с помощью сеток, механических или песчаных фильтров, отстойников, а иногда и путем коагуляции.

Борьба с выпадением солей жесткости в оборотных системах ведется посредством постоянного сброса из системы части воды и замены ее свежей водой из источников водоснабжения («продувки» системы) либо применением специальной обработки воды.

Продувка системы не всегда дает нужный эффект. Она рациональна только в тех случаях, когда карбонатная жесткость воды в источнике водоснабжения значительно ниже допустимой в оборотной воде. При близких значениях величин карбонатной жесткости количество подаваемой для продувки воды из источника должно быть настолько велико (в процентах от всего расхода воды), что она может оказаться неэкономичной.

Воду поверхностных источников можно использовать без обработки, если ее карбонатная жесткость не превышает 3,0 мг/экв.

Следует иметь также в виду, что добавочная вода, поступающая в оборотную систему, является основным источником загрязнений.

Количество солей, которое может находиться в добавляемой в систему свежей воде, при условии поддержания допустимой жесткости в циркуляционной воде определяется из равенства:

$$C_{\text{доб}}(p_1 + p_2 + p_3) \geq C_{\text{цир}}(p_2 + p_3), \quad (48)$$

где $C_{\text{доб}}$ — количество (концентрация) солей в добавочной воде (жесткость в мг/экв/л);

$C_{\text{цир}}$ — максимальная допустимая жесткость в циркуляционной воде в мг/экв/л;

p_1 — потери на испарение в %;

p_2 — потери на унос ветром в %;

p_3 — количество продувочной воды в %.

Таким образом, необходимый для продувки системы расход воды составляет:

$$p_3 \geq \frac{C_{\text{до}}}{C_{\text{цир}} - C_{\text{доб}}} - p_2. \quad (49)$$

Карбонатная жесткость свежей добавочной воды не должна превышать:

$$C_{\text{доб}} \leq C_{\text{цир}} \frac{p_2 + p_3}{p_1 + p_2 + p_3}. \quad (50)$$

Общее количество свежей воды, подаваемой из источника водоснабжения в систему оборотного водоснабжения, равно:

$$P = p_1 + p_2 + p_3. \quad (51)$$

В тех случаях, когда продувка оказывается неэкономичной, применяется химическая обработка воды. Эта обработка обес-

печивает поддержание в оборотной системе такого солевого состава, при котором предельно снижается возможность образования накипей и коррозии, сохраняется нейтральная — для деревянных конструкций — концентрация водородных ионов — pH (в пределах 6,5—7).

По количеству обрабатываемой воды (производительности установки) наиболее целесообразной является обработка добавочной воды, поступающей в оборотную систему водоснабжения.

Химическая обработка воды оборотных систем может производиться одним из следующих способов:

а) введением в добавочную воду фосфатов, которые задерживают кристаллизацию карбоната кальция;

б) подкислением добавочной воды. При этом карбонатная жесткость свежей воды переходит в некарбонатную и соли не выпадают в осадок, снижается pH и щелочность воды;

в) известкованием добавочной воды (ее умягчением) в целях снижения содержания кальция и щелочности;

г) обработкой на катионитовых фильтрах (глубоким умягчением воды);

д) рекарбонизацией воды оборотной системы дымовыми газами (от котельной) для поддержания в воде необходимого количества свободной углекислоты, предотвращающего образование накипей в холодильниках.

При этом способе обработке подвергается вся циркулирующая в системе вода.

Наиболее сложными и дорогостоящими как в строительстве так и в эксплуатации, требующими наличия специального оборудования и квалифицированного персонала являются установки по известкованию и катионитовому умягчению воды. Кроме того, необходимость поддержания pH воды не выше 7 заставляет в ряде случаев сочетать эти установки с частичным последующим подкислением воды. Поэтому эти способы обработки воды оборотных систем применяются сравнительно редко.

§ 2. Установки для фосфатирования

Введение в добавочную воду, поступающую в систему оборотного водоснабжения, небольшого количества фосфатов (суперфосфата и реже тринарийфосфата или гексаметафосфата), стабилизирует карбонат и бикарбонат кальция, задерживает их кристаллизацию и создает условия для содержания в оборотной воде значительно больших концентраций кальциевых солей без выпадения осадка и появления отложений на стенках охлаждаемых поверхностей.

Обследования существующих установок на металлургических заводах позволили установить еще одно ценное качество фосфатов — их способность разрушать старую накипь, которая постепенно размягчается и начинает отваливаться от стенок труб холодильников.

Крепкий раствор фосфатов готовится в затворном баке фосфатирующей установкой, оборудованном мешалкой. Для лучшего растворения в баки подается теплая вода. Для полного извлечения вытяжки фосфатов из загрузаемого продукта целесообразно одну порцию продукта растворять два раза.

Затворный и отстоявшийся крепкий раствор сливается в баки, где разбавляется до 10—12%-ной крепости и отсюда уже дозами вводится непосредственно в добавочную воду.

Количество фосфата, требуемого для обработки воды, определяется по формуле А. Ф. Шабакина:

$$C = \frac{\Phi W_{\text{доп}}}{10s}, \quad (52)$$

где Φ — доза фосфата, считая на P_2O_5 ;

$W_{\text{доп}}$ — количество воды, добавляемой в систему в $m^3/час$;

s — содержание P_2O_5 в продажном фосфате (18%).

Определение дозы фосфатов в зависимости от количества P_2O_5 , которое нужно поддерживать в циркуляционной системе водоснабжения, производится по формуле:

$$\Phi = 1,5 + 0,15 \frac{E}{W_{\text{доп}}} \frac{E}{m^3}, \quad (53)$$

где E — объем воды в системе (в водоводах и резервуарах градирен или брызгальных устройств);

$W_{\text{доп}}$ — количество воды, добавляемой в систему, в $m^3/час$.

Объем баков для растворения фосфатов и хранения готового крепкого раствора может быть подсчитан по формуле:

$$W = \frac{\Phi W_{\text{доп}} t}{10000k}, \quad (54)$$

где t — время хранения раствора. Если крепкий раствор готовится, то готовится один раз в смену, время хранения составит 8 час.;

k — концентрация раствора по техническому продукту, равная 10% (принимается по рекомендации ВОДТЕО).

Емкость баков для хранения рабочего раствора реагента (разведения крепкого раствора) определяется также по формуле (54). При этом t принимается, например, равным 4 час. при условии разведения раствора до нужной концентрации два раза в смену. Крепость рабочего раствора принимается 0,4—0,5%, считая на P_2O_5 .

По данным института Гипротис, фосфатирование воды оборотных циклов применимо при карбонатной жесткости до 16°. При этом доза фосфата принимается от 1 до 4 $мг/л$, считая на P_2O_5 .

По тем же данным фосфатирование добавочной воды наиболее эффективно при наличии некоторого сброса воды из

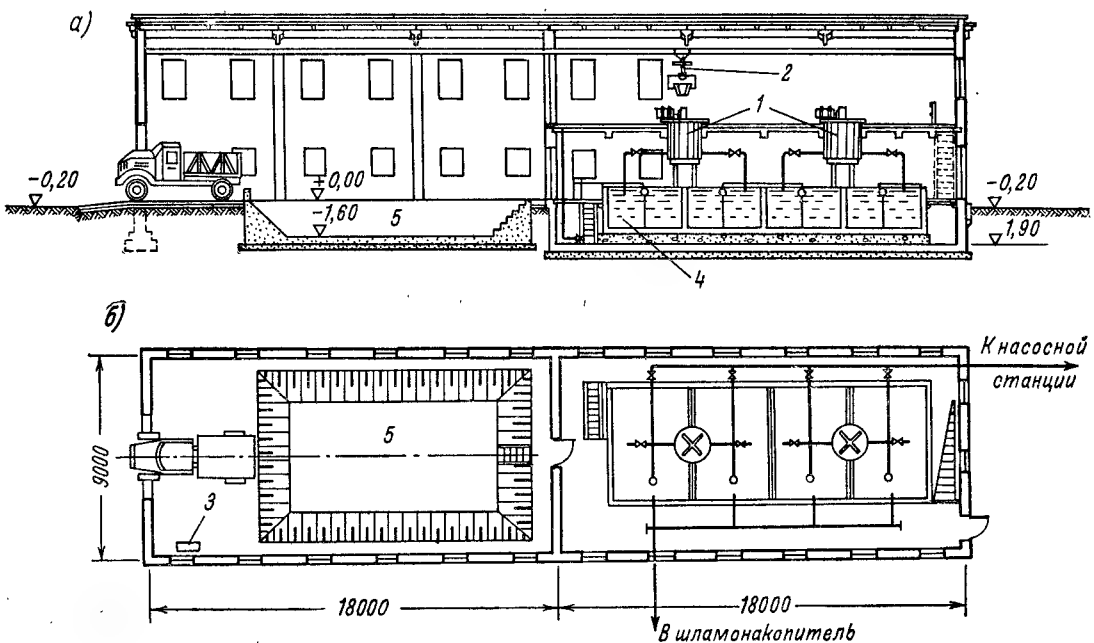


Рис. 84. Установка для фосфатирования:

а — разрез; б — план; 1 — мешалки для перемешивания фосфатов; 2 — таль электрическая; 3 — передвижная сеялка для просеивания фосфатов; 4 — бак для раствора; 5 — склад фосфатов

системы, т. е. при наличии частичной продувки. В системах производственного водоснабжения это носит постоянный характер за счет наличия безвозвратных потерь в производстве и сброса в канализацию грязных стоков.

Размер продувки системы при фосфатировании, исходя из условий сохранения в системе предела щелочности оборотной воды, определяется формулой:

$$P_{\text{доб}} = \frac{Ш_{\text{доб}}}{Ш_{\text{цир}} - Ш_{\text{доб}}} (p_1 - p_2), \quad (55)$$

где $P_{\text{доб}}$ — расход воды на продувку в %;
 $Ш_{\text{доб}}$ — щелочность добавочной воды, принимается 3,8—4 мг·экв/л;
 $Ш_{\text{цир}}$ — щелочность циркуляционной воды, принимается 5,7—6 мг·экв/л;
 p_1 — потери воды на испарение;
 p_2 — потери воды на унос капель ветром.

Если в связи с повышенной щелочностью добавочной воды получается необходимость большей продувки, ее можно уменьшить путем некоторого снижения щелочности добавочной воды — подкислением.

Установка для фосфатирования приведена на рис. 84.

§ 3. Установка для подкисления

Подкисление воды обеспечивает перевод содержащихся в ней слаборастворимых карбонатов кальция и магния в сульфаты, характеризующиеся высокой растворимостью и практически не выпадающие в осадок. Этот способ обработки применим при любой жесткости добавочной воды, но при условии, что содержание в ней сульфатов не больше 1750—2000 мг/л. Превышение этого количества приводит к выпадению из воды гипса.

1 кг 100 %-ной серной кислоты образует 1 кг гипса, а растворимость гипса — 1,9 кг на 1 м³ воды. Исходя из этих данных, можно определить предельно допустимую добавку кислоты в обрабатываемую воду.

По данным исследований центральной лаборатории Донбассводтреста, подкисление является наиболее экономичным способом обработки добавочной воды при ее карбонатной жесткости выше 10°.

Установка по подкислению серной кислотой добавочной воды для оборотных систем промышленного водоснабжения состоит из мерного бака, куда поступает серная кислота из растворных баков (с мешалками), в которых заготавливается раствор необходимой концентрации. Из баков через дозатор и смеситель кислота поступает в добавочную воду.

Соленоидный вентиль автоматически регулирует подачу определенной дозы кислоты в добавочную воду в зависимости от

электропроводности циркуляционной воды. Если его смонтировать вслед за мерным баком, то от установки растворных баков можно отказаться.

Потребное количество кислоты для подкисления может быть определено по формуле:

$$C = \frac{2,8T}{\alpha} Ж_{\text{кар}} W_{\text{доб}} \text{ кг/час}, \quad (56)$$

где T — для серной кислоты равно 1,75;
 α — содержание кислоты в техническом продукте, равно 75 %;

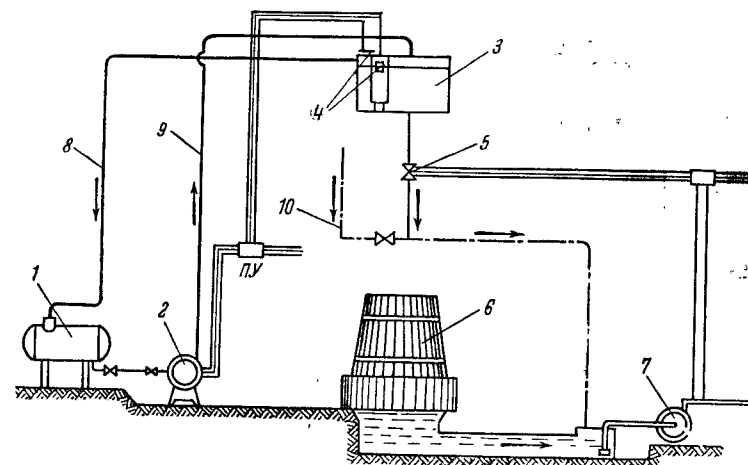


Рис. 85. Схема установки для подкисления воды:

1 — хранилище кислоты; 2 — кислотный насос; 3 — мерный бак; 4 — реле уровня; 5 — соленоидный клапан; 6 — водоохладитель; 7 — насос циркуляционной воды; 8 — переливной трубопровод; 9 — напорный трубопровод; 10 — добавочная вода

$Ж_{\text{кар}}$ — величина снижения карбонатной жесткости добавочной воды в мг·экв/л;

$W_{\text{доб}}$ — расход добавочной воды в м³/час.

Емкость мерного бака:

$$V = \frac{Ct}{1000\gamma}, \quad (57)$$

где C — расход кислоты в кг/час;

t — число часов работы заготовки;

γ — удельный вес кислоты.

При расчете величины снижения карбонатной жесткости рекомендуется сохранять в воде некоторое количество карбонатов (до 2 мг·экв/л или 5—6°), чтобы на стенках охлаждаемой аппаратуры мог образоваться незначительный слой накипи, предохраняющий металл от коррозии.

Схема установки для подкисления воды приводится на рис. 85.

§ 4. Установка для рекарбонизации

Для поддержания в циркуляционной воде необходимого количества углекислоты, предотвращающей выпадение в осадок бикарбоната кальция, может быть использована углекислота, содержащаяся в дымовых газах, отходящих от котельных.

При этом способе обработки дымовые газы после их очистки от золы и других возможных загрязнений (при котельной) с помощью трубовоздуховки нагнетаются обычно в водозаборный колодец у насосной станции, куда входят всасывающие трубы насосов оборотного водоснабжения.

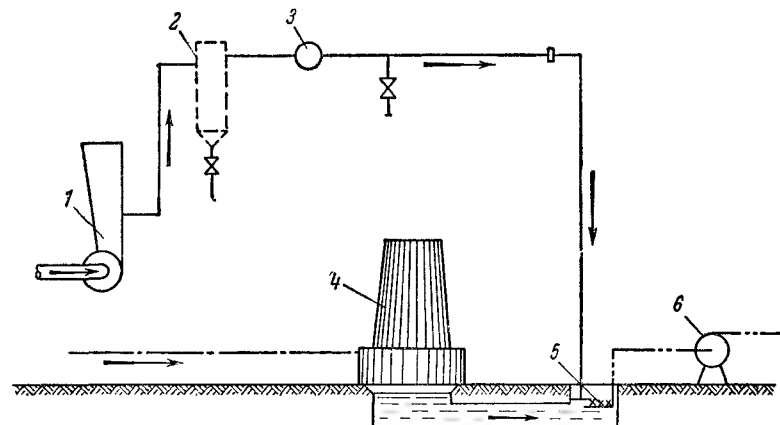


Рис. 86. Схема установки для рекарбонизации воды:
1—дымосос; 2—золоуловитель; 3—воздуховодка; 4—водоохладитель; 5—барботажная установка; 6—насос циркуляционной воды

Для лучшего соприкосновения газов с водой и лучшего усвоения углекислоты в водозаборном колодце, который является и камерой смешения, устанавливается барбатер. Исследования показали, что лучшим типом барбатера являются фильтросы.

Схема установки по рекарбонизации оборотной воды дымовыми газами приведена на рис. 86.

Количество необходимой углекислоты в воде может быть ориентировочно определено по формуле:

$$(\text{CO}_2)_p = \frac{p \text{Ш}_{\text{доб}}}{K(p - p_1)} - \frac{100 - p}{100} (\text{CO}_2)_{\text{оборот}} - \frac{p}{100} (\text{CO}_2)_{\text{доб}} - \frac{b}{K}, \quad (58)$$

где $(\text{CO}_2)_p$ — потребная доза углекислоты в циркуляционной воде в г/м³;
 p — расход добавочной воды в % от оборотной;
 p_1 — потеря воды на испарение в %;
 $\text{Ш}_{\text{доб}}$ — щелочность добавочной воды в %;

$(\text{CO}_2)_{\text{оборот}}$ — содержание углекислоты в оборотной воде после охладителя в мг/л;

$(\text{CO}_2)_{\text{доб}}$ — содержание углекислоты в добавочной воде в мг/л;

K — коэффициент, зависящий от температуры нагретой воды в системе;

b — коэффициент, зависящий от температуры и содержания в воде органических веществ, определяемый по окислению воды.

Значения коэффициентов K и b приведены в табл. 34.

Таблица 34

Коэффициенты K и b					
Температура нагретой воды в град.	Значения K	Значения b			
		Окисляемость добавочной воды в мг/л O_2			
		5	10	20	50
30	0,82	10	11,9	13	13,6
40	0,57	8	9,9	11	11,6
50	0,39	8	8,9	10	10

По данным наблюдений, проведенных институтом Гипротис на действующих установках, средние параметры для расчета можно принимать по табл. 35.

Таблица 35

Дозы углекислоты	
Жесткость добавочной воды в мг · экв/л	Доза углекислоты в г/м ³
10	22,6
8	13,3
5	Не требуется
3	" "

Минимальное содержание углекислоты в дымовых газах — 5—10%. Удельный вес 1 м³ газа при температуре 51° — 1,09. Поглощение углекислоты водой из газа в зависимости от типа барбатера — 90—95%. Установки рекарбонизации оборотной воды дымовыми газами рекомендуется применять при карбонатной жесткости добавочной воды до 28° (10 мг · экв/л).

Большим преимуществом этого способа обработки воды является отсутствие эксплуатационных расходов на приобретение и приготовление реагента.

§ 5. Борьба с цветением и гидробиологическими обрастаниями в оборотных системах

Высокая температура оборотной воды систем производственного водоснабжения создает благоприятные условия для размножения микроорганизмов, поступающих в циркуляционную систему обычно с водой открытых источников.

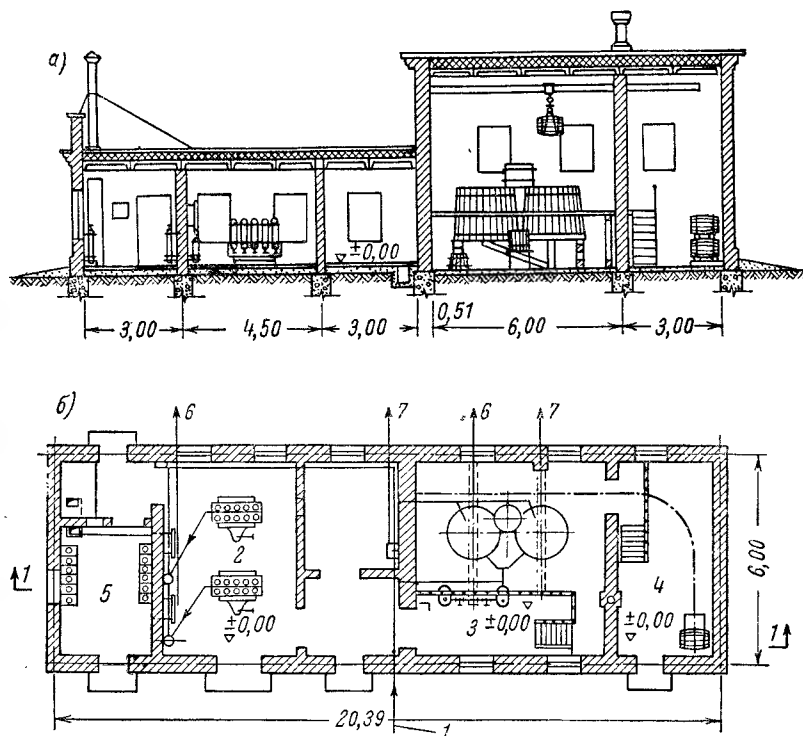


Рис. 87. Хлораторная производительностью 5 кг/час:

а — разрез; б — план; 1 — подвод воды; 2 — газодозаторное отделение; 3 — помещение раствора и дозирования хлораторной извести; 4 — склад хлорной извести; 5 — склад баллонов; 6 — отвод хлорной воды; 7 — выпуски в канализацию

Микроорганизмы могут представлять собой грибки (плесени), водоросли, бактерии (железобактерии, серобактерии и др.) и даже моллюски и ракушки (для морской воды).

Все эти гидробиологические обрастания осложняют эксплуатацию систем оборотного водоснабжения, требуя постоянной или сезонной борьбы с ними. Эта борьба ведется путем обработки воды химикалиями, обладающими токсическими свойствами по отношению к микроорганизмам.

Наиболее распространенными препаратами является хлор и медный купорос.

Хлорирование оборотной воды может производиться постоянно малыми дозами — 2—3 мг/л или периодически большими дозами — 15—50 мг/л. Режим и доза хлорирования устанавливаются в зависимости от местных условий, на основе опыта эксплуатации; при этом особое внимание уделяется установлению режима, исключающего возможность коррозии холодильников.

Для уменьшения размеров, а следовательно, и снижения стоимости строительства хлораторных установок целесообразно подвергать обработке только свежую воду, подающуюся из источника водоснабжения для пополнения оборотных систем.

При небольшом расходе свежей воды, не превышающем 20 000 м³ в сутки, хлорирование может производиться раствором хлорной извести. Обработку более значительных расходов воды целесообразно производить жидким хлором.

Образцом подобных установок являются типовая хлораторная установка разработки ГПИ Водоканалпроект. Эта установка приспособлена для работы с любым видом хлора (рис. 87).

Применять стандартное отечественное оборудование — хлораторы производительностью 2—10 кг/час — можно и для мощных установок в случае создания запаса хлорной воды в течение большей части суток с одновременным расхождением ее в периоды хлорирования свежей воды.

При такой схеме работы мощность хлораторной установки может быть снижена в несколько раз.

Установка с предварительной заготовкой хлорной воды отличается от обычной хлораторной только наличием емкостей для хранения запаса хлорной воды.

Медный купорос применяется преимущественно для борьбы с цветением охлаждающих прудов, а также обрастанием трубопроводов и сооружений оборотного водоснабжения — ракушечником. Обработка воды медным купоросом, как и хлорирование, может производиться непрерывно или периодически. В зависимости от характера биообрастания и режима обработки меняется доза купороса от 0,1 до 10 мг/л.

ГЛАВА VIII

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Тепловой расчет охладителей производится для следующих условий:

а) среднемесячных условий, характеризующих средние условия эксплуатации охладителей. Среднемесячные температуры охлажденной воды используются для технико-экономического обоснования схемы водоснабжения и размеров охладителей;

б) жаркого периода, в соответствии с которым определяются размеры охладителей, исходя из максимально допустимых температур охлажденной воды по технологическим требованиям.

Для теплового расчета прудов-охладителей необходимо иметь данные по следующим метеорологическим факторам: температуре воздуха, влажности воздуха, общей облачности (для расчета радиационного баланса), скорости ветра.

Для теплового расчета градирен и брызгальных бассейнов требуется знать температуру и влажность воздуха.

Данные по среднемесячным метеорологическим условиям для ряда пунктов СССР, определенные по многолетним наблюдениям, приводятся в табл. 36. В этой же таблице приведены среднемесячные значения радиационного баланса и естественной температуры воды в пруде, определенные путем расчета по наблюдаемым метеорологическим факторам.

Выбор расчетного жаркого периода производится с учетом особенностей охладителей, а именно: теплоаккумулирующей способности, зависящей от объема содержащейся в них воды.

Для градирен и брызгальных устройств, объем воды в которых сравнительно невелик и время водообмена осуществляется в течение нескольких часов, в качестве расчетных условий жаркого периода обычно принимаются среднесуточные метеорологические условия жаркого дня обеспеченностью 1% в летние месяцы года (VI, VII и VIII месяцы), определенные по многолетним наблюдениям.

Среднесуточные значения температур воздуха по сухому и смоченному термометру и относительной влажности воздуха

обеспеченностью 1, 5, 10 и 50% в летний период года (VI, VII и VIII месяцы) для некоторых пунктов приведены в табл. 37.

Для прудов-охладителей, имеющих большие объемы воды, теплоаккумулирующая способность которых велика и водообмен в которых исчисляется несколькими сутками, в качестве расчетных принимаются средние метеорологические условия, наблюдаемые в наиболее неблагоприятную для охлаждения воды декаду.

Метеорологические условия за жаркую декаду выбираются из многолетних срочных наблюдений на ближайшей к пруду-охладителю метеорологической станции по признаку наиболее неблагоприятного сочетания высокой температуры и влажности воздуха с малой скоростью ветра и облачностью, т. е. максимальной естественной температуре воды.

Величина радиационного баланса при отсутствии данных наблюдений определяется теоретическим путем на основании данных наблюдений над общей облачностью.

Расчет радиационного баланса рекомендуется производить по методике, разработанной Главной геофизической обсерваторией им. Воейкова, хорошо согласующейся с данными наблюдений над величиной радиационного баланса на прудах-охладителях.

Величина радиационного баланса определяется из уравнения:

$$R = (Q + q)_n (1 - \alpha) - I_n. \quad (59)$$

Величина $(Q + q)_n$ — суммарная прямая + рассеянная радиация — определяется по формуле Савинова — Онгстрема:

$$(Q + q)_n = (Q + q)_0 [1 - (1 - K)n], \quad (60)$$

где $(Q + q)_0$ — суммарная радиация при безоблачном небе, определяемая в зависимости от широты из табл. 38;

n — облачность в долях единицы;

K — коэффициент, учитывающий поглощательную способность облачного покрова, зависящий от широты; определяемый по данным табл. 39;

α — отражательная способность водной поверхности (альбедо), принимаемая по данным табл. 40;

I_n — эффективное излучение естественного водоема, рассчитываемое по формуле:

$$I_n = I_0 (1 - Cn^2), \quad (61)$$

где I_0 — эффективное излучение при безоблачном небе, определяемое в зависимости от температуры и влажности воздуха по данным табл. 41;

C — коэффициент, зависящий от широты, принимается по табл. 42.

Среднемесячные метеорологические условия и естественные температуры воды в прудах для некоторых пунктов СССР

Пункты наблюдений	Наименование метеорологических факторов	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Алма-Ата	Температура воздуха	-7,4	-5,6	1,7	10,5	16,3	20,8	23,0	22,4	16,8	9,2	1,4	-4,8
	Относительная влажность . . .	76,0	80,0	72,0	60,0	54,0	51,0	48,0	42,0	44,0	55,0	64,0	74,0
	Скорость ветра	1,1	1,2	1,5	2,2	2,3	2,4	2,6	2,4	2,3	1,9	1,1	1,1
	Облачность (общая)	5,7	5,1	6,2	5,6	5,3	4,5	4,1	3,2	3,3	4,2	5,3	5,8
	Радиационный баланс	-0,09	0,77	1,5	2,56	3,36	3,96	3,96	3,84	2,33	1,15	0,19	-0,13
	Естественная температура воды	-8,8	-2,3	6,1	13,9	19,5	23,3	24,6	23,7	17,5	10,0	1,2	-6,6
Астрахань	Температура воздуха	-6,9	-5,8	0,2	9,3	17,7	22,5	25,1	23,3	17,1	9,9	2,3	-3,5
	Относительная влажность . . .	100,0	95,0	83,0	68,0	62,0	62,0	62,0	63,0	69,0	79,0	94,0	100,0
	Скорость ветра	4,8	4,8	5,3	4,9	4,8	4,7	4,2	4,1	4,1	4,4	4,6	4,8
	Облачность (общая)	6,9	6,3	5,2	4,2	3,6	3,2	2,8	2,4	2,8	3,9	6,6	7,6
	Радиационный баланс	-0,15	0,41	1,64	2,98	4,09	4,69	4,73	3,98	2,46	0,99	0,0	-0,27
	Естественная температура воды	-7,5	-4,3	4,5	13,2	21,1	24,6	25,4	26,9	19,8	11,5	2,0	-4,5
Ашхабад	Температура воздуха	0,6	3,8	9,4	16,3	23,2	27,9	30,4	28,8	23,2	15,5	8,6	3,5
	Относительная влажность . . .	82,0	78,0	70,0	58,0	41,0	36,0	32,0	32,0	38,0	52,0	66,0	83,0
	Скорость ветра	2,1	2,4	2,6	2,0	2,9	3,2	3,1	2,8	2,4	2,3	2,0	2,0
	Облачность (общая)	6,4	6,1	5,9	5,5	4,3	2,5	1,9	1,4	1,5	3,0	4,9	5,9
	Радиационный баланс	0,64	1,02	2,0	2,85	3,88	4,70	4,81	4,29	3,05	1,86	0,68	0,35
	Естественная температура воды	2,4	6,2	13,0	18,8	23,5	26,6	27,6	24,2	21,9	16,5	8,9	3,8
Горький	Температура воздуха	-12,0	-11,4	-6,0	3,0	11,6	15,8	18,1	16,2	10,4	3,2	-3,8	-9,9
	Относительная влажность . . .	100,0	92,0	89,0	77,0	62,0	67,0	69,0	71,0	78,0	84,0	97,0	100,0
	Скорость ветра	4,5	5,2	5,0	4,5	4,6	4,2	3,6	3,8	4,0	4,7	4,8	4,8
	Облачность (общая)	8,0	7,4	6,5	6,0	5,4	5,4	5,4	5,8	6,7	7,3	8,7	8,3
	Радиационный баланс	-0,56	-0,32	0,78	1,88	3,0	3,49	3,29	2,21	0,98	0,04	-0,4	-0,57
	Естественная температура воды	-14,4	-5,6	-3,4	6,0	14,8	19,2	21,6	18,8	11,8	3,3	-5,3	-12,3
Иркутск	Температура воздуха	-20,9	-18,5	-10,9	0,6	9,1	14,5	17,5	15,0	8,0	0,1	-10,7	-18,7
	Относительная влажность . . .	92,0	84,0	75,0	58,0	54,0	62,0	71,0	75,0	75,0	76,0	94,0	100,0
	Скорость ветра	1,5	1,7	2,4	2,9	3,3	2,4	2,1	1,9	2,2	2,1	1,8	1,1
	Облачность (общая)	6,2	5,2	5,4	6,3	7,4	7,4	7,8	7,0	6,6	6,7	7,4	7,4
	Радиационный баланс	-0,43	0,02	1,18	1,93	2,17	2,51	2,19	1,91	1,14	0,28	-0,38	-0,56
	Естественная температура воды	-23,7	-18,3	-4,6	4,6	10,3	16,7	20,0	18,4	10,6	0,1	-13,2	-18,3

Пункты наблюдений	Наименование метеорологических факторов	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Казань	Температура воздуха	-13,0	-12,1	-6,2	3,9	13,0	17,6	20,0	17,6	11,3	3,9	-3,9	-10,5
	Относительная влажность . . .	100,0	92,0	86,0	72,0	58,0	62,0	62,0	66,0	73,0	82,0	92,0	96,0
	Скорость ветра	4,1	4,4	4,6	4,3	4,0	3,6	3,4	3,2	3,5	4,2	4,4	4,2
	Облачность (общая)	7,9	7,1	6,4	6,2	5,8	5,6	5,6	5,6	6,6	7,4	8,6	8,1
	Радиационный баланс	-0,54	-0,28	0,82	1,86	2,83	3,39	3,14	2,29	0,99	0,09	-0,39	-0,59
	Естественная температура воды	-15,7	-13,5	-3,3	6,3	15,4	20,2	22,1	19,8	12,3	3,8	-5,8	-13,3
Краснодар	Температура воздуха	-2,3	-1,0	4,7	10,6	16,7	20,4	23,4	22,8	17,5	12,3	5,1	0,5
	Относительная влажность . . .	98,0	93,0	78,0	71,0	70,0	72,0	66,0	64,0	71,0	76,0	87,0	94,0
	Скорость ветра	3,4	4,4	3,6	4,7	4,4	3,8	3,0	3,1	3,4	3,7	3,7	4,2
	Облачность (общая)	7,4	7,2	6,5	5,9	5,0	4,7	3,6	3,1	3,6	4,9	6,4	7,4
	Радиационный баланс	-0,01	0,43	1,38	2,43	3,66	4,12	4,46	3,77	2,47	1,10	0,10	-0,19
	Естественная температура воды	-2,3	0,2	7,2	13,2	20,4	24,4	27,2	25,7	20,4	16,6	5,5	-0,5
Красноярск	Температура воздуха	-16,8	-15,2	-8,2	0,7	8,4	15,5	18,2	15,2	9,0	0,9	-8,9	-15,6
	Относительная влажность . . .	81,0	84,0	81,0	69,0	63,0	68,0	78,0	82,0	80,0	83,0	94,0	88,0
	Скорость ветра	2,7	2,0	3,1	2,9	3,3	2,6	1,9	1,8	2,2	3,2	3,6	3,0
	Облачность (общая)	6,2	6,1	6,2	6,3	6,6	6,5	6,4	6,4	6,5	7,6	7,0	6,5
	Радиационный баланс	-0,36	-0,28	0,8	1,82	2,50	2,94	2,88	2,22	1,00	0,07	-0,56	-0,77
	Естественная температура воды	-20,4	-16,8	-5,0	5,0	12,2	19,0	22,7	20,0	11,5	1,1	-11,9	-20,5
Ленинград	Температура воздуха	-7,5	-7,9	-4,1	2,9	9,6	14,5	17,7	15,7	10,7	4,7	-0,6	-5,3
	Относительная влажность . . .	72,0	72,0	65,0	57,0	51,0	50,0	51,0	56,0	60,0	65,0	69,0	71,0
	Скорость ветра	5,7	5,5	5,6	4,5	4,7	5,1	4,5	4,5	5,4	5,9	5,5	5,4
	Облачность (общая)	8,2	8,1	6,9	6,3	6,0	5,8	5,9	6,5	6,8	7,7	8,5	8,7
	Радиационный баланс	-0,54	-0,39	0,53	1,77	2,67	3,22	3,14	1,83	0,76	-0,12	-0,55	-0,60
	Естественная температура воды	-10,7	-9,9	-3,7	4,8	11,5	16,0	19,0	15,9	9,6	2,7	-4,3	-8,9
Луганск	Температура воздуха	-6,8	-6,3	-0,3	8,4	15,9	19,3	22,0	20,7	14,7	8,3	1,3	-4,0
	Относительная влажность . . .	98,0	93,0	88,0	66,0	60,0	64,0	59,0	57,0	63,0	74,0	90,0	98,0
	Скорость ветра	4,5	6,4	5,4	4,7	4,3	3,5	3,5	3,4	2,8	3,6	4,6	5,5
	Облачность (общая)	7,7	7,2	7,0	5,9	4,7	4,7	4,2	3,2	4,0	5,3	7,7	8,3
	Радиационный баланс	-0,26	0,14	1,09	2,50	3,46	3,59	3,88	3,41	1,97	0,72	-0,15	-1,0
	Естественная температура воды	-7,9	-5,9	2,6	11,5	18,8	22,4	24,6	23,1	16,9	9,1	1,3	-8,0

Пункты наблюдений	Наименование метеорологических факторов	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Москва	Температура воздуха	—10,3	— 9,7	—5,0	3,7	11,7	15,4	17,8	15,8	10,4	4,1	—2,3	— 8,0
	Относительная влажность	100,0	96,0	89,0	78,0	65,0	72,0	74,0	76,0	82,0	87,0	96,0	100
	Скорость ветра	2,8	3,0	2,8	2,4	2,4	2,2	2,1	2,1	2,2	2,5	3,1	3,0
	Облачность (общая)	8,2	7,8	7,0	6,2	5,7	5,8	5,6	6,0	6,5	7,4	8,6	8,6
	Радиационный баланс	— 0,49	— 0,22	0,67	1,88	3,07	3,49	3,21	2,18	1,03	0,11	—0,38	— 0,54
	Естественная температура воды	—12,7	—10,9	—2,5	8,1	16,6	20,9	22,8	19,7	12,6	9,9	—3,5	—10,6
Новосибирск	Температура воздуха	—19,0	—17,2	—10,8	—0,4	9,7	16,5	19,0	16,5	10,3	1,6	—9,2	—16,6
	Относительная влажность	100,0	100,0	94,0	79,0	63,0	66,0	69,0	74,0	72,0	80,0	100,0	100,0
	Скорость ветра	3,7	3,5	4,3	3,5	3,8	3,0	2,4	2,2	3,0	3,4	4,5	4,1
	Облачность (общая)	6,4	5,8	5,4	5,4	6,0	6,1	5,7	6,0	6,0	7,3	7,4	6,8
	Радиационный баланс	— 0,59	— 0,15	1,09	2,22	2,76	3,19	3,14	2,23	1,13	—0,08	—0,43	—0,69
	Естественная температура воды	—21,9	—17,7	— 5,9	5,4	13,4	19,7	22,7	20,0	12,2	1,0	—10,7	—20,0
Омск	Температура воздуха	—19,3	—18,5	—11,9	—0,1	10,4	16,2	18,4	15,5	10,0	1,2	— 8,9	—16,8
	Относительная влажность	90,0	84,0	96,0	85,0	65,0	68,0	70,0	74,0	72,0	79,0	82,0	71,0
	Скорость ветра	5,1	5,1	5,7	5,1	5,2	4,7	3,9	3,8	4,1	5,0	4,9	5,0
	Облачность (общая)	6,3	5,9	5,9	5,7	6,1	5,6	6,1	6,0	6,1	7,7	7,0	6,5
	Радиационный баланс	— 0,57	— 0,17	0,93	2,09	2,86	3,43	3,02	2,22	1,11	0,09	—0,47	— 0,72
	Естественная температура воды	—22,5	—19,7	—7,9	5,7	13,5	20,5	21,4	18,8	11,2	1,6	—10,7	—20,2
Свердловск	Температура воздуха	—15,6	—13,6	—7,4	2,1	9,9	15,2	17,3	14,8	9,0	1,2	—7,1	—13,6
	Относительная влажность	94,0	93,0	79,0	68,0	61,0	67,0	70,0	74,0	77,0	83,0	97,0	93,0
	Скорость ветра	3,4	3,6	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,5	4,2	4,2	4,0
	Облачность (общая)	6,9	6,1	5,7	5,6	6,2	6,1	6,3	6,4	6,7	7,6	8,1	7,4
	Радиационный баланс	— 0,64	— 0,37	0,8	1,97	2,57	3,16	2,85	2,01	0,91	0,04	— 0,49	— 0,72
	Естественная температура воды	—19,3	—15,7	—0,9	5,6	12,8	18,6	20,5	17,8	10,4	1,2	—10,2	—17,5
Сталинград	Температура воздуха	—9,6	—8,9	—2,6	8,2	17,0	21,4	24,2	22,7	15,9	8,2	0,2	—6,3
	Относительная влажность	95,0	90,0	88,0	64,0	53,0	54,0	51,0	49,0	59,0	72,0	92,0	97,0
	Скорость ветра	3,9	3,8	4,3	3,8	3,5	3,3	3,5	3,1	3,2	3,7	3,4	4,4
	Облачность (общая)	7,0	6,5	6,1	5,7	4,9	4,9	4,4	4,0	4,2	5,2	6,8	7,4
	Радиационный баланс	— 0,28	—0,18	1,26	2,52	3,51	4,17	3,77	2,95	1,84	0,72	—0,19	—0,37
	Естественная температура воды	—11,1	—8,4	1,4	11,6	19,4	23,8	24,7	22,7	16,8	9,0	0,0	—7,9
Ташкент	Температура воздуха	—1,1	1,5	7,8	14,7	20,2	25,3	27,4	25,5	19,7	12,7	6,7	1,8
	Относительная влажность	77,0	72,0	61,0	59,0	52,0	41,0	39,0	40,0	40,0	50,0	58,0	69,0
	Скорость ветра	1,4	1,6	1,7	1,6	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Облачность (общая)	6,7	6,6	6,4	5,9	4,5	2,9	1,6	1,0	1,6	3,5	5,2	6,4
	Радиационный баланс	0,13	0,68	1,62	2,55	3,81	4,54	4,94	4,32	2,77	1,46	0,35	—0,02
	Естественная температура воды	—1,6	2,8	10,5	16,9	23,4	26,9	28,8	26,4	20,1	13,6	5,7	—0,1

Пункты наблюдений	Наименование метеорологических факторов				Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
Томск	Температура воздуха	-19,2	-16,6	-10,2												
	Относительная влажность	100,0	95,0	85,0	-0,6	8,4	15,3	18,1	15,3	9,2	0,6	-10,1	-17,3			
	Скорость ветра	4,4	5,5	6,8	73,0	65,0	70,0	78,0	82,0	80,0	86,0	100,0	100,0			
	Облачность (общая)	6,8	5,8	5,7	4,4	4,0	3,1	3,3	2,7	3,9	5,8	4,7	5,2			
	Радиационный баланс	-0,6	-0,29	0,88	5,6	6,3	5,9	5,7	5,9	6,4	6,7	7,4	6,9			
	Естественная температура воды	-22,5	-18,2	-7,3	2,02	2,64	3,25	3,17	2,24	1,0	0,07	-0,5	-0,74			
Тула	Температура воздуха	-9,8	-9,6	-4,6	5,0	12,2	19,5	22,4	19,6	11,0	1,0	-12,2	-20,0			
	Относительная влажность	100,0	100,0	95,0	4,3	13,0	16,6	18,7	16,8	11,3	4,8	-1,6	-7,4			
	Скорость ветра	3,8	4,7	4,4	84,0	67,0	72,0	72,0	74,0	78,0	87,0	98,0	100,0			
	Облачность (общая)	7,5	7,2	6,7	3,5	3,3	3,2	3,0	2,9	2,8	3,2	4,2	4,6			
	Радиационный баланс	-0,61	-0,15	0,86	5,5	5,6	5,6	5,7	5,7	5,8	6,8	7,8	7,8			
	Естественная температура воды	-12,0	-10,3	-1,4	3,09	2,96	3,42	3,15	2,33	1,24	0,15	-0,37	-0,57			
Уфа	Температура воздуха	-14,6	-13,5	-7,0	11,6	16,7	20,8	22,8	20,2	13,5	5,3	-3,1	-9,9			
	Относительная влажность	100,0	92,0	85,0	3,3	12,6	17,5	19,4	17,1	11,1	3,1	-5,3	-12,0			
	Скорость ветра	5,0	5,3	5,8	71,0	60,0	64,0	66,0	68,0	72,0	86,0	97,0	97,0			
	Облачность (общая)	7,0	6,5	6,4	4,7	4,8	3,9	3,8	3,2	3,9	4,7	3,8	5,4			
	Радиационный баланс	-0,52	-0,22	0,91	5,8	5,9	5,9	5,8	5,9	6,4	7,3	7,7	7,3			
	Естественная температура воды	-17,1	-14,7	-4,0	2,0	2,83	3,24	3,07	2,25	1,12	0,11	-0,43	-0,69			
Харьков	Температура воздуха	-7,9	-7,7	-2,3	6,6	14,7	17,9	20,2	19,0	13,5	6,9	0,0	-5,7			
	Относительная влажность	100,0	100,0	93,0	73,0	61,0	68,0	65,0	61,0	68,0	81,0	94,0	97,0			
	Скорость ветра	4,3	4,8	4,3	4,0	3,9	3,3	3,0	2,8	2,8	3,5	5,0	4,3			
	Облачность (общая)	7,7	7,3	6,9	6,4	5,6	5,8	5,3	4,8	5,2	6,2	7,6	7,8			
	Радиационный баланс	-0,35	0,04	1,05	2,06	3,07	3,59	3,46	2,76	1,56	0,5	-0,34	-0,42			
	Естественная температура воды	-9,3	-7,4	1,3	9,6	17,3	21,1	23,5	21,3	15,3	7,7	-0,2	-7,5			
Челябинск	Температура воздуха	-15,7	-14,4	-8,0	2,5	11,8	16,9	18,7	16,4	10,4	2,2	-6,3	-13,2			
	Относительная влажность	96,0	92,0	84,0	75,0	62,0	66,0	69,0	70,0	73,0	80,0	94,0	95,0			
	Скорость ветра	3,4	3,5	4,1	4,2	4,3	4,0	3,8	3,3	3,8	3,9	3,1	3,2			
	Облачность (общая)	5,9	5,6	5,3	5,3	5,7	5,6	5,8	5,7	6,1	6,7	6,6	6,3			
	Радиационный баланс	-0,71	-0,26	1,01	2,18	2,95	3,42	3,16	2,33	1,13	0,12	-0,41	-0,78			
	Естественная температура воды	-19,7	-16,0	-4,2	2,0	14,9	20,1	21,9	19,4	12,0	2,4	-8,5	-17,5			

Размерность величин: 1) температура воздуха в град.; 2) относительная влажность (общая) в баллах; 3) радиационный баланс в $\text{т} \cdot \text{кал} / \text{м}^2 \text{ сутки}$ рассчитана по тепловому балансу.

4) облачность (общая) в баллах; 5) радиационный баланс в $\text{т} \cdot \text{кал} / \text{м}^2 \text{ сутки}$ рассчитана по тепловой влажности в %; 6) естественная температура воды (t_e)

Среднесуточные метеорологические условия различной обеспеченности за летний период года (VI, VII и VIII месяцы) для некоторых пунктов СССР

Пункты наблюдений	Обеспеченность 1%			Обеспеченность 5%			Обеспеченность 10%			Обеспеченность 50%		
	T	φ	τ	T	φ	τ	T	φ	τ	T	φ	τ
Алма-Ата	32,0	28	19,8	27,7	31	17,4	26,5	34	17,0	21,8	42	14,6
Астрахань	30,4	52	23,2	28,8	55	22,4	27,8	56	21,6	24,0	57	18,6
Ашхабад	36,3	18	20,2	34,8	20	19,8	33,9	22	19,7	29,8	26	17,9
Горький	26,8	48	19,6	24,0	52	17,8	22,7	56	17,3	17,3	70	14,2
Иркутск	22,0	63	17,6	20,5	68	16,9	19,7	71	16,5	14,8	73	12,3
Казань	26,8	43	18,7	24,6	51	18,2	23,4	55	17,8	17,6	68	14,3
Краснодар	28,0	55	21,6	26,5	57	20,6	25,5	59	20,1	21,6	67	17,8
Красноярск	24,4	55	18,6	22,5	61	17,8	21,4	64	17,2	15,7	69	12,7
Ленинград	26,0	56	20,1	23,2	60	18,3	21,7	63	17,4	16,6	70	13,6
Луганск	30,1	30	18,8	27,0	37	17,8	25,7	44	18,0	21,1	58	16,2
Москва	27,0	55	20,8	24,5	57	19,0	22,9	59	17,9	17,4	68	14,1
Новосибирск	25,4	54	19,3	23,3	59	18,2	22,0	63	17,6	16,6	70	13,6
Омск	27,4	44	19,4	24,1	50	17,6	22,5	55	17,0	16,8	66	13,4
Свердловск	25,8	49	18,8	23,2	57	17,8	21,5	62	17,0	16,0	73	13,4
Сталинград	31,0	33	20,0	28,9	37	19,3	27,6	42	19,2	22,8	50	16,6
Ташкент	31,2	37	21,0	29,4	38	19,8	28,6	40	19,6	25,0	46	17,8
Томск	24,3	60	19,2	22,3	64	18,0	21,0	68	17,4	15,8	74	13,3
Тула	25,5	56	19,6	23,1	60	18,2	21,6	63	17,3	17,1	72	14,3
Уфа	27,6	44	19,5	25,3	48	18,3	23,8	53	17,8	17,8	67	13,7
Харьков	28,5	38	19,2	26,4	45	18,8	24,9	52	18,6	20,0	66	16,2
Челябинск	26,0	51	19,4	23,7	54	15,8	22,4	58	17,3	16,8	68	13,6

Условные обозначения: T—температура воздуха; φ—относительная влажность воздуха; τ—температура смоченного термометра.

Суммарная радиация (прямая+рассеянная) при безоблачном небе $(Q+q)_0$ т·кал/м² сутки

Широта в град.	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
80	0,00	0,00	0,81	3,20	5,77	6,76	6,10	3,48	1,20	0,13	0,0	0,00
75	0,03	0,21	1,29	3,73	6,03	6,97	6,35	3,97	1,77	0,55	0,07	0,00
70	0,06	0,50	1,87	4,23	6,26	7,13	6,55	4,42	2,33	0,97	0,23	0,03
65	0,26	0,89	2,45	4,70	6,48	7,30	6,77	4,87	2,93	1,45	0,50	0,13
60	0,55	1,39	3,10	5,13	6,71	7,43	6,97	5,29	3,50	1,97	0,87	0,39
55	0,97	2,00	3,71	5,53	6,94	7,57	7,13	5,71	4,10	2,48	1,37	0,74
50	1,52	2,68	4,35	5,93	7,13	7,67	7,26	6,06	4,73	3,10	1,93	1,22
45	2,13	3,36	4,97	6,33	7,29	7,77	7,39	6,48	5,33	3,74	2,57	1,84
40	2,81	4,11	5,48	6,67	7,39	7,83	7,48	6,81	5,87	4,32	3,23	2,48
35	3,48	4,86	5,97	7,00	7,42	7,83	7,52	7,03	6,27	4,87	3,93	3,10
30	4,10	5,43	6,29	7,20	7,42	7,83	7,52	7,16	6,60	5,32	4,53	3,68
25	4,61	5,89	6,55	7,27	7,39	7,80	7,45	7,19	6,83	5,68	5,00	4,22
20	5,00	6,25	6,71	7,27	7,29	7,63	7,32	7,16	7,00	5,97	5,43	4,68
15	5,35	6,54	6,77	7,20	7,10	7,40	7,13	7,03	7,03	6,19	5,77	5,06
10	5,61	6,78	6,77	7,10	6,84	7,07	6,84	6,84	7,03	6,32	6,00	5,35
5	5,81	6,96	6,71	6,93	6,58	6,60	6,48	6,61	6,93	6,42	6,20	5,58
0	5,97	7,07	6,58	6,73	6,19	6,00	6,03	6,32	6,80	6,45	6,33	5,80

Среднеширотные изменения коэффициента K

Таблица 39

Широта в град.	75	70	65	60	55	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Коэффициент K	0,55	0,50	0,45	0,40	0,38	0,36	0,33	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35

Отражательная способность (альбедо) водной поверхности

Таблица 40

Широта в град.	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
70	—	0,23	0,16	0,11	0,09	0,09	0,09	0,10	0,13	0,15	—	—
60	0,20	0,16	0,11	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,10	0,14	0,19	0,21
50	0,16	0,12	0,09	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,11	0,14	0,16
40	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11	0,12
30	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09
20	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
10	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07
0	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Таблица 41

Эффективное излучение при безоблачном небе (I_0) в зависимости от температуры (T) и абсолютной влажности (e) воздуха $т \cdot \text{кал} / \text{м}^2 \text{ сутки}$

$e \backslash T$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
—10	1,80	1,67															
—8	1,83	1,73															
—6	1,87	1,77	1,67														
—4	1,93	1,83	1,73														
—2	2,03	1,87	1,80	1,67													
0	2,07	1,93	1,83	1,73													
2	2,17	2,00	1,87	1,77	1,70												
4	2,20	2,03	1,93	1,83	1,73	1,63											
6	2,20	2,13	2,00	1,86	1,80	1,70	1,63										
8	2,33	2,17	2,03	1,93	1,83	1,73	1,67	1,60									
10	2,40	2,23	2,10	2,00	1,90	1,80	1,73	1,63	1,56								
12	2,46	2,30	2,17	2,03	1,93	1,86	1,76	1,70	1,63	1,53							
14	2,53	2,37	2,23	2,10	2,00	1,90	1,83	1,73	1,66	1,60	1,46						
16	2,60	2,43	2,30	2,16	2,08	1,96	1,86	1,80	1,73	1,63	1,50	1,36					
18	—	2,50	2,33	2,23	2,13	2,03	1,93	1,83	1,76	1,70	1,53	1,40	1,26				
20	—	2,57	2,43	2,30	2,17	2,06	2,00	1,90	1,80	1,73	1,60	1,43	1,30	1,20			
22	—	—	2,50	2,37	2,23	2,13	2,03	1,93	1,86	1,80	1,63	1,50	1,36	1,23	1,10		
24	—	—	2,67	2,43	2,30	2,20	2,10	2,00	1,93	1,83	1,66	1,53	1,40	1,26	1,13	1,03	

$\begin{matrix} e \\ T \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
26	—	—	2,57	2,46	2,37	2,23	2,16	2,03	1,96	1,86	1,73	1,56	1,43	1,30	1,16	1,07	0,97
28	—	—	—	2,53	2,43	2,30	2,23	2,10	2,00	1,93	1,76	1,60	1,46	1,33	1,20	1,10	1,00
30	—	—	—	2,60	2,50	2,40	2,26	2,16	2,06	2,00	1,80	1,66	1,50	1,10	1,26	1,13	—
32	—	—	—	—	2,53	2,46	2,33	2,23	2,13	2,03	1,86	1,70	1,56	1,43	1,26	1,16	—
34	—	—	—	—	2,60	2,50	2,40	2,30	2,20	2,10	1,93	1,73	1,60	1,46	1,30	—	—
36	—	—	—	—	—	2,60	2,46	2,36	2,26	2,16	2,00	1,80	1,63	—	—	—	—
38	—	—	—	—	—	—	2,53	2,43	2,33	2,23	—	—	—	—	—	—	—

Среднеширотные изменения коэффициента C

Таблица 42

Широта в град.	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Коэффициент C	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,52	0,5

Максимальная упругость паров воды при температурах выше 0° в мм рт. ст.

Таблица 43

t в град.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
+0	4,58	4,61	4,65	4,68	4,72	4,75	4,78	4,82	4,86	4,89
1	4,93	4,96	5,00	5,03	5,07	5,11	5,14	5,18	5,22	5,26
2	5,29	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,52	5,56	5,60	5,64
3	5,68	5,72	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,96
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,56	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,04	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,84	8,90	8,96	9,02	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,58	9,65	9,71	9,78
11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,01	11,08	11,16
13	11,23	11,30	11,38	11,45	11,53	11,60	11,68	11,76	11,83	11,91
14	11,99	12,06	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71
15	12,79	12,87	12,95	13,04	13,12	13,20	13,29	13,38	13,46	13,55
16	13,63	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38
18	15,48	15,58	15,67	15,77	15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
19	16,48	16,58	16,68	16,79	16,89	17,00	17,10	17,21	17,32	17,43
20	17,54	17,64	17,75	17,86	17,97	18,08	18,20	18,31	18,42	18,54
21	18,65	18,76	18,88	19,00	19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,07	20,19	20,32	20,44	20,56	20,69	20,82	20,94
23	21,07	21,20	21,32	21,45	21,58	21,71	21,84	21,98	22,11	22,24
24	22,38	22,51	22,65	22,78	22,92	23,06	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,90	24,04	24,18	24,33	24,47	24,64	24,76	24,91	25,06
26	25,21	25,36	25,51	25,66	25,81	25,96	26,12	26,27	26,43	26,58
27	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,54	27,70	27,86	28,02	28,18
28	28,35	28,51	28,68	28,85	29,02	29,18	29,35	29,52	29,70	29,87
29	30,04	30,22	30,39	30,57	30,74	30,92	31,10	31,28	31,46	31,64

<i>t</i> в град.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	31,82	32,01	32,19	32,38	32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,50
31	33,70	33,89	34,08	34,28	34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
32	35,66	35,86	36,07	36,27	36,48	36,68	36,89	37,10	37,31	37,52
33	37,73	37,94	38,15	38,37	38,58	38,90	39,02	39,24	39,46	39,68
34	39,90	40,12	40,34	40,57	40,80	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
35	42,18	42,41	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,84	44,08	44,32
36	44,56	44,81	45,05	45,30	45,55	45,80	46,05	46,30	46,56	46,81
37	47,07	47,32	47,58	47,84	48,10	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
38	49,69	49,96	50,23	50,50	50,77	51,05	51,32	51,60	51,88	52,16
39	52,44	52,72	53,01	53,29	53,58	53,87	54,16	54,45	54,74	55,03
40	55,32	55,61	55,91	56,21	56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03
41	58,34	58,65	58,96	59,27	59,58	59,90	60,22	60,54	60,86	61,18
42	61,50	61,82	62,14	62,47	62,80	63,13	63,46	63,79	64,12	64,46
43	64,80	65,14	65,48	65,82	66,16	66,51	66,86	67,21	67,56	67,91
44	68,26	68,61	68,97	69,33	69,69	70,05	70,41	70,77	71,14	71,51
45	71,88	72,25	72,62	72,99	73,36	73,74	74,12	74,50	74,88	75,26
46	75,65	76,04	76,43	76,82	77,21	77,60	78,00	78,40	78,80	79,20
47	79,60	80,00	80,41	80,82	81,23	81,64	82,05	82,46	82,87	83,20
48	83,71	84,13	84,56	84,99	85,42	85,85	86,28	86,71	87,14	87,58
49	88,02	88,46	88,90	89,34	89,79	90,24	90,69	91,14	91,59	92,05
50	92,46	92,90	93,34	93,79	94,30	94,74	95,18	95,70	96,14	96,65
51	97,09	97,61	98,05	98,56	99,08	99,52	100,03	100,55	100,99	101,50
52	102,02	102,53	103,05	103,49	104,00	104,52	105,03	105,55	106,06	106,58
53	107,09	107,60	108,19	108,71	109,22	109,74	110,25	110,84	111,35	111,87
54	112,46	112,97	113,48	114,07	114,59	115,18	115,69	116,28	116,86	117,38
55	117,97	118,48	119,07	119,66	120,25	120,83	121,35	121,94	122,52	123,11
56	123,70	124,29	124,88	125,46	126,05	126,71	127,30	127,89	128,48	129,14
57	129,73	130,32	130,98	131,56	132,23	132,81	133,48	134,06	134,73	135,31
58	135,98	136,64	137,22	137,89	138,55	139,21	139,87	140,53	141,19	141,86
59	142,52	143,18	143,84	144,50	145,16	145,82	146,56	147,22	147,88	148,54
60	149,28	149,94	150,68	151,34	152,07	152,73	153,47	154,20	154,86	155,60

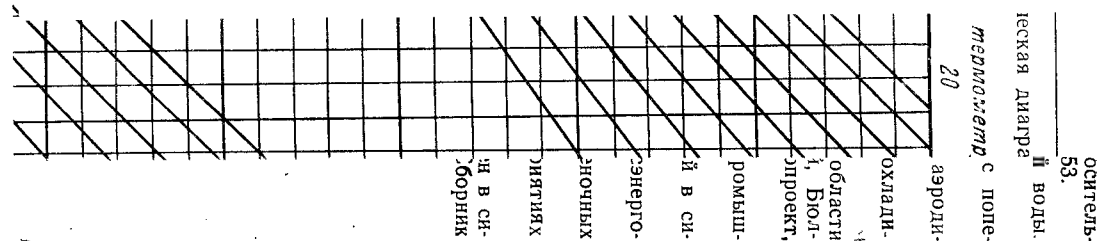
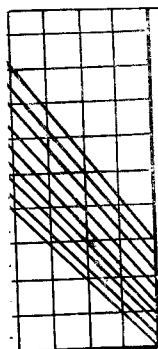


График I. Влагосодержание воздуха

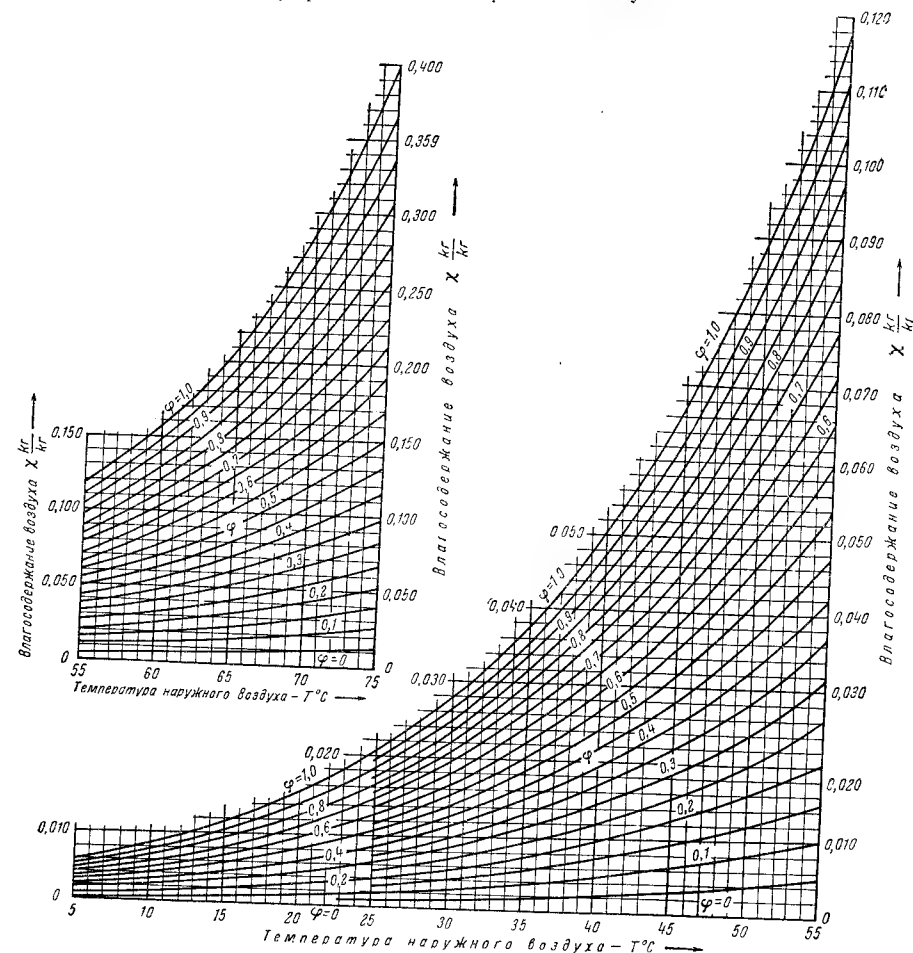


График II. Теплосодержание воздуха

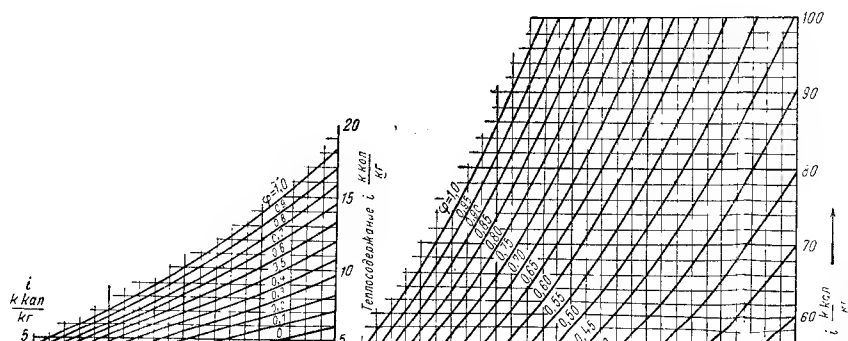
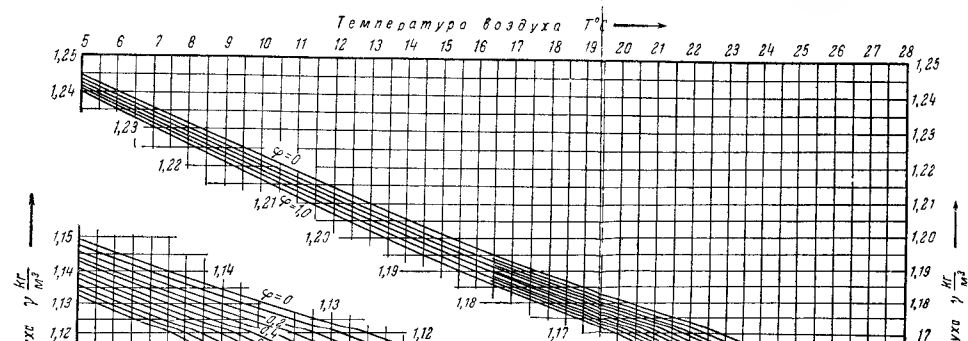


График III. Удельный вес влажного воздуха



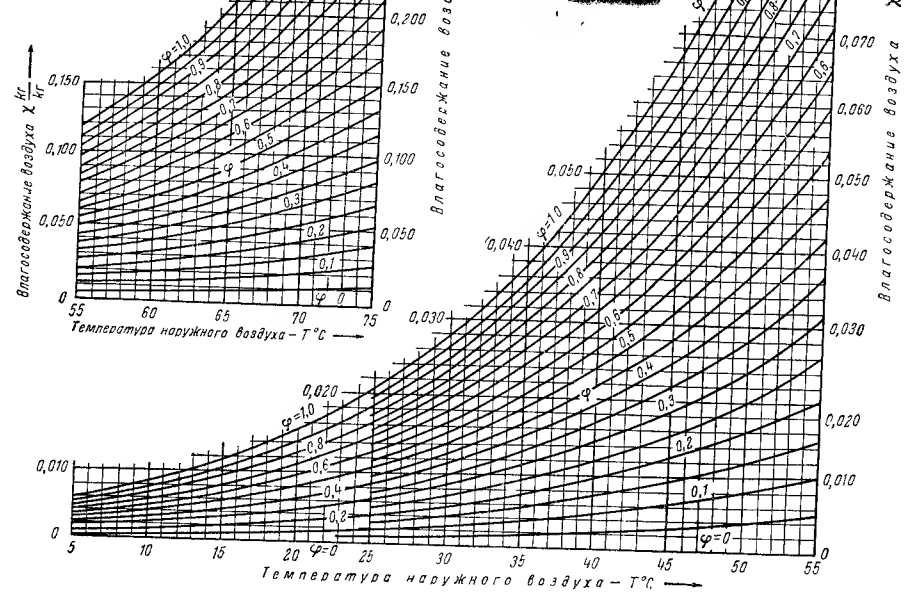


График II. Теплосодержание воздуха

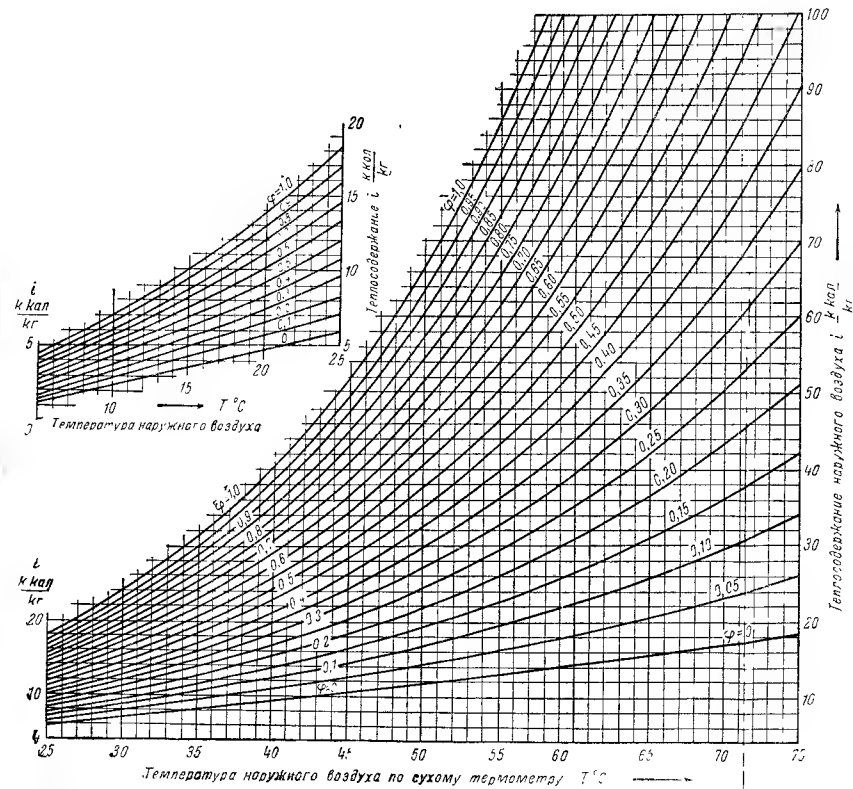


График III. Удельный вес влажного воздуха

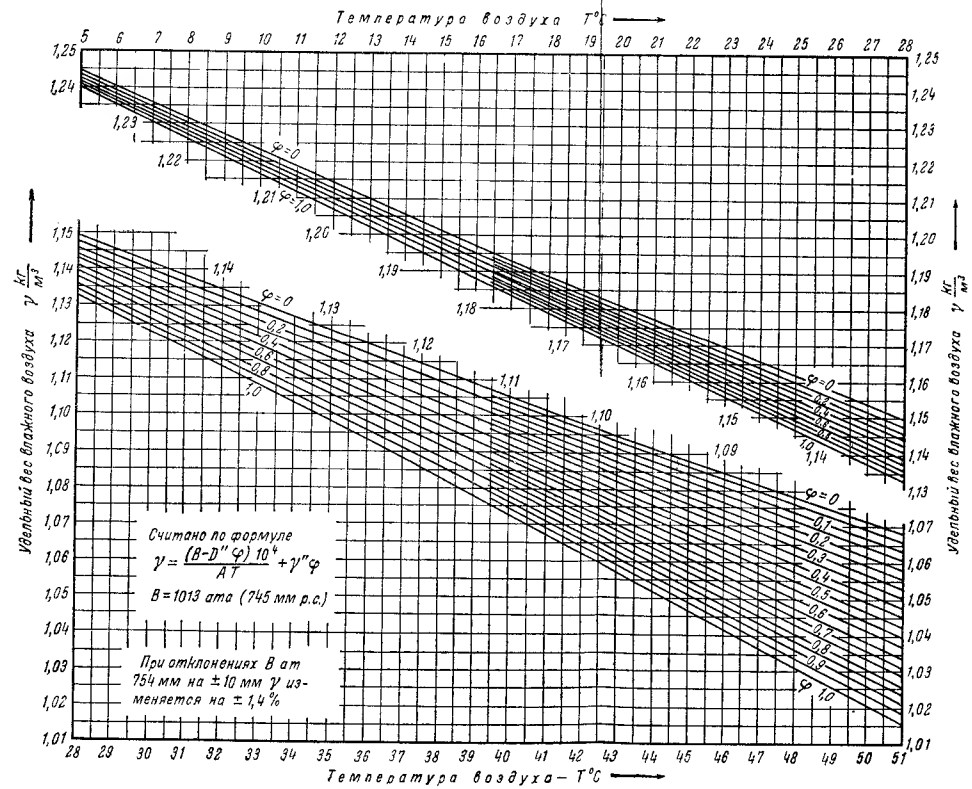
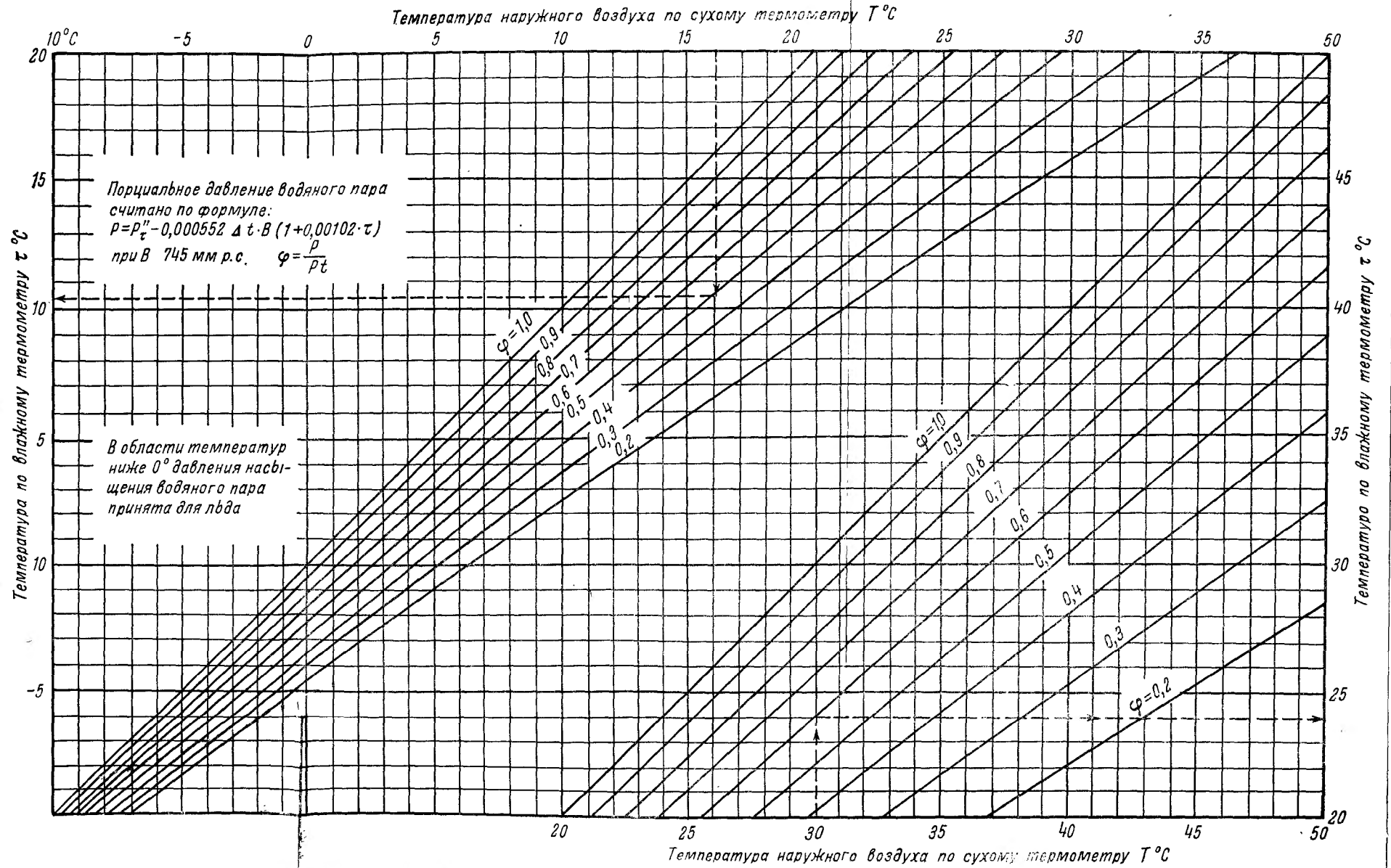
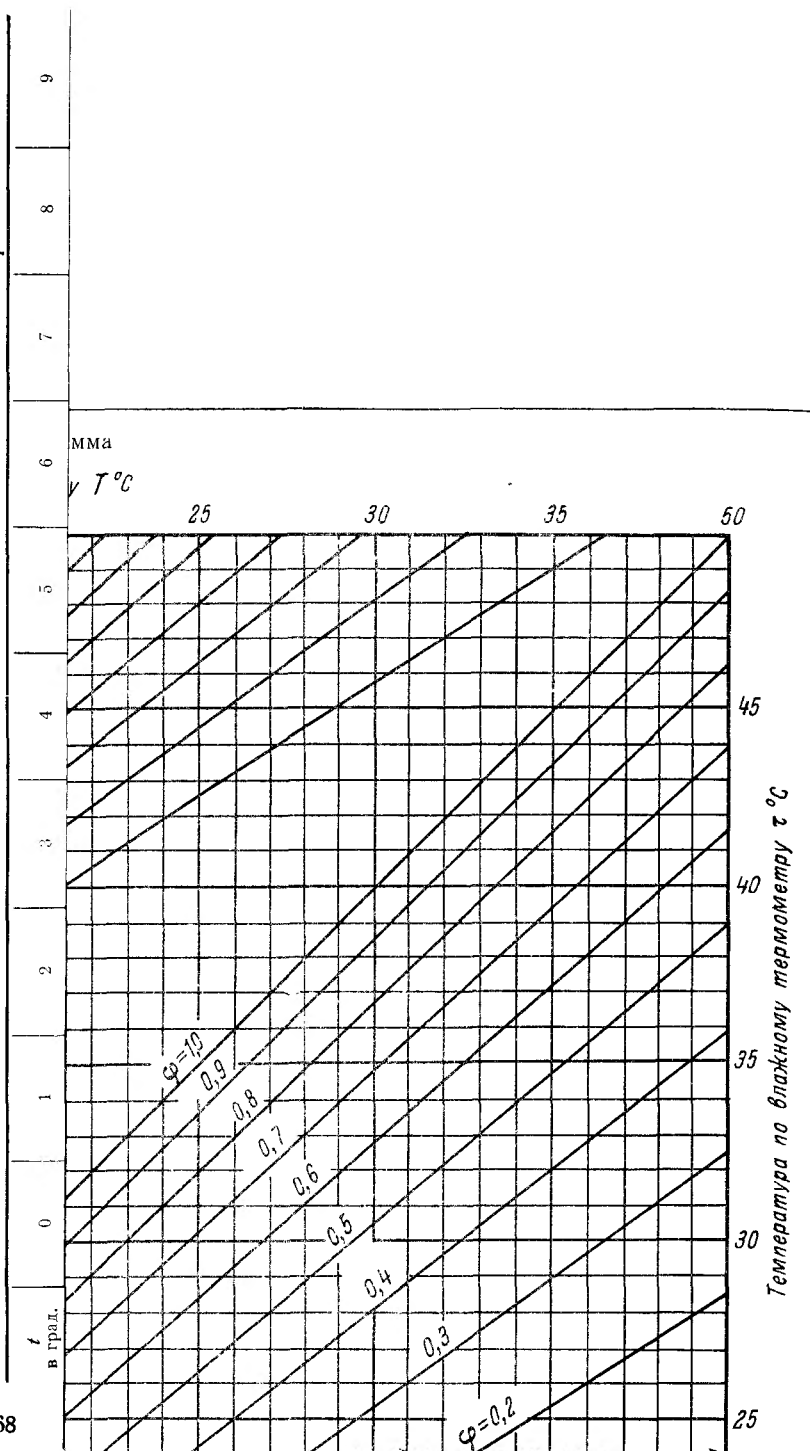


График IV. Психрометрическая диаграмма





ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов В. Е., Громцов Б. Н., Сопротивление оросительных устройств градирен, журн. «Электрические станции», № 10, 1953.
2. Берман Л. Д., Испарительное охлаждение циркуляционной воды. Госэнергоиздат, 1957.
3. Бибииков Д. Н., О тепловом расчете пленочных градирен с поперечным током воздуха, Известия НИИГ, т. 23, 1938.
4. ВНИИГ им. Веденеева, Рационализация гидравлического и аэродинамического режимов в башенных градирнях, 1957.
5. ВНИИГ им. Веденеева, Проект ТУиН проектирования прудов-охлаждающих, 1958.
6. Денисов П. А., Современное положение и перспективы в области проектирования, строительства и эксплуатации прудов-охлаждающих, Бюллетень технической информации и обмена опытом ГПИ Теплоэлектропроект, № 8, март 1958.
7. Конюшков А. М., Водоснабжение предприятий тяжелой промышленности, Госстройиздат, 1950.
8. Крушель Г. Е., Образование и предотвращение отложений в системах водяного охлаждения, Госэнергоиздат, 1955.
9. Покровский В. Н., Водоснабжение электростанций, Госэнергоиздат, 1958.
10. Проскуряков Б. В., Теория термического расчета пленочных градирен, Известия НИИГ, т. 16, 1935.
11. Шабалин А. Ф., Водоснабжение и водоотведение на предприятиях черной металлургии, Металлургиздат, 1955.
12. Ямпольский Т. С., О применении вентиляторных градирен в системах оборотного водоснабжения металлургических заводов, Сборник Гипротис, 1957.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Теплообменная аппаратура и требования, предъявляемые к температуре воды и ее качеству	4
§ 1. Установки заводов черной металлургии	5
§ 2. Заводы химической промышленности	10
§ 3. Тепловые электростанции	11
§ 4. Компрессорные станции	13
Глава II. Выбор систем производственного водоснабжения	15
Глава III. Выбор типа охладителей и области их применения. Размещение на площадках	25
§ 1. Пруды-охладители	26
§ 2. Брызгальные бассейны	27
§ 3. Открытые градирни (брызгальные и капельные)	28
§ 4. Башенные градирни	—
§ 5. Вентиляторные градирни	29
§ 6. Радиаторные градирни	30
§ 7. Размещение охладителей на площадках	31
Глава IV. Охладители циркуляционной воды	33
А. Пруды-охладители	—
§ 1. Общие сведения	—
§ 2. Схемы циркуляции и организация прудов-охладителей	34
§ 3. Расчет пруда-охладителя	39
§ 4. Заращение и заиливание прудов	51
Б. Брызгальные устройства	52
§ 1. Общие сведения	—
§ 2. Разбрызгивающие сопла, их гидравлические характеристики и установка	53
§ 3. Конструкции и детали	59
§ 4. Номограмма для теплового расчета	61
В. Градирни	63
§ 1. Классификация градирен	—
§ 2. Аэродинамика градирен	64
§ 3. Гидравлика оросительных устройств	69
§ 4. Коэффициенты теплоотдачи в оросительных устройствах	75
§ 5. Теоретический метод теплового расчета градирен	79
§ 6. Графики охлаждения воды в градирнях	85
§ 7. Конструкции градирен	91
§ 8. Материалы для оросительных и водораспределительных устройств	109
§ 9. Мероприятия по борьбе с обмерзанием градирен	112
§ 10. Радиаторные градирни	115
Глава V. Потери воды в охладителях	119

Глава VI. Типовые проекты охладителей. Технико-экономические показатели	123
§ 1. Пруды-охладители и брызгальные бассейны	—
§ 2. Градирни	—
Глава VII. Обработка воды оборотных систем	141
§ 1. Общие сведения	—
§ 2. Установки для фосфатирования	143
§ 3. Установка для подкисления	146
§ 4. Установка для рекарбонизации	148
§ 5. Борьба с цветением и гидробиологическими обрастаниями в оборотных системах	150
Глава VIII. Метеорологические условия для теплового расчета охладителей	152
Литература	169

Б. С. Фарфоровский, Я. Н. Пятов
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

* * *
Госстройиздат, Ленинградское отделение
Ленинград, Невский пр., 28

* * *
Редактор издательства М. Я. Каплан
Технический редактор Е. А. Пулькина
Корректоры Н. Г. Герасимова и В. А. Ануфриева
Слано в набор 15/X 1959 г. Подписано к печати 8/III 1960 г.
М-31091 Формат 60×92¹/₁₆. 5,62 б. л., 10,75 печ. л. + 2 вкл. Уч.-изд.
л. 11,1 Тираж 6500 экз. Изд. № 508/1 Зак. № 805.
Цена 5 р. 55 к.

Типография № 11 Управления полиграфической
промышленности Ленсовнархоза, Ленинград, ул. Марата, 58

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
48	5 снизу	$Q - \frac{t'_2 - t_2}{\Delta t}$	$Q \frac{t'_2 - t_2}{\Delta t}$
77-78		Подписи к рис. 39 и 40	Следует поменять местами
79	3 снизу	$\frac{1,44 \beta_v}{\gamma_{cp} v_{cp}}$	$\frac{1,84 \beta_v}{\gamma_{cp} v_{cp}}$
83	6 сверху	6 000 м ³ /час	9 600 м ³ /час
84	7 "	55 - 0,5 · 4 ... = 2,60	50 + 0,5 · 4 ... = 2,4
84	9 "	55 - 0,5 · 4 ... = 2,01	50 + 0,5 · 4 ... = 2,0
142	9 снизу	$\frac{C_{до}}{C_{цир} - C_{доб}} - p_2$	$\frac{C_{доб} p_1}{C_{цир} - C_{доб}}$

Зак. № 805